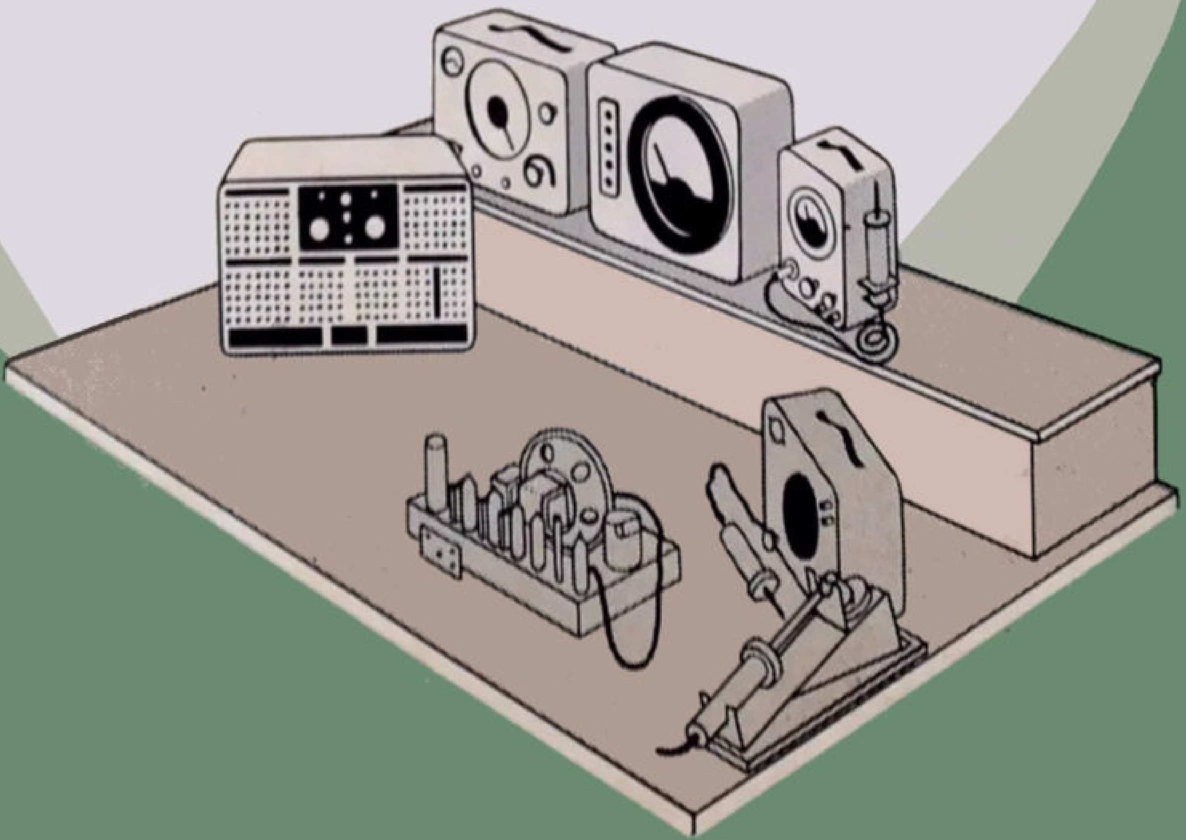
VAN HET ELECTRON TOT DE SUPER

DEEL 1 LESSEN 1 - 20

J. OTTE
Ph. F. SALVERDA
C. J. v. WILLIGEN

VAN HET ELECTRON TOT DE SUPER

'n eenvoudige cursus voor de radioservice-man



PHILIPS TECHNISCHE BIBLIOTHEEK

Gerestaureerd door Jos Verstraten - 2024

VAN HET ELECTRON TOT DE SUPER

DEEL 1 LESSEN 1 - 20

VAN HET ELECTRON TOT DE SUPER

VAN HET ELECTRON TOT DE SUPER

EEN EENVOUDIGE CURSUS
VOOR DE RADIO-SERVICE MAN

U. D. C. Nr. 621.396.62

DOOR

J. OTTE
PH. F. SALVERDA
C. J. VAN WILLIGEN

VERBONDEN AAN DE CENTRALE SERVICE AFDELING DER
N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN TE EINDHOVEN

1954

PHILIPS TECHNISCHE BIBLIOTHEEK

MEDEDELING VAN DE UITGEVER:
DEZE CURSUS WORDT UITGEGEVEN IN NEDERLANDS, ENGELS, FRANS EN SPAANS

COPYRIGHT N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN TE EINDHOVEN (NEDERLAND)
NADRUK, OOK GEDEELTELIJK, VERBODEN
GEDRUKT IN NEDERLAND

ALLE IN DIT BOEK OPGENOMEN GEGEVENS WORDEN MEDEGEDEELD ZONDER OCTROOIGARANTIE VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN TE EINDHOVEN

WOORD VOORAF

Een goede radiomonteur is onmisbaar voor de radiohandelaar. Immers, met de verkoop van een radio-apparaat is het werk van een handelaar die prijs stelt op een goede reputatie, niet beeindigd. Behalve een kwaliteitsproduct, is een goede service nodig om tevreden klanten te kweken.
Iedere handelaar weet, dat tevreden klanten de beste en goedkoopste propaganda voor zijn zaak zijn en dat zij hem niet alleen weer nieuwe klanten bezorgen, maar tevens een bron van inkomsten betekenen door reparaties, met de daaruit voortvloeiende verkoop van nieuwe radiobuizen en onderdelen.
Hier is dus een belangrijke taak voor de radiomonteur weggelegd.

De publicatie van deze cursus beoogt goede monteurs te helpen vormen.

'Van het Electron tot de Super' is een populaire cursus voor de radio serviceman, bestaande uit een totaal van 42 lessen. Elke les behandelt een bepaald onderwerp en de gehele cursus is speciaal gebaseerd op de practijk van de Radio Service.
De theoretische principes zijn daarom slechts behandeld voor zover dit strikt noodzakelijk is, en op een zodanige wijze dat bereikt werd dat de cursus voor iedereen, met gevoel voor techniek, begrijpelijk is.
Een duidelijk inzicht wordt gegeven in de werking van een modern radio-ontvangtoestel, in het lezen van radio-technische schema's het gebruik van meetapparaten, het opsporen van fouten, enz. Bovendien geven de lessen nuttige wenken voor het localiseren en repareren van de meest optredende defecten. Verder werd aandacht besteed aan het inrichten van een service werkplaats met de daarvoor nodige apparatuur en gereedschappen.

Teneinde de cursus geschikt te maken vooral voor zelfstudie, is van elke les een korte samenvatting gegeven, waarin men de stof in gecomprimeerde vorm herhaald krijgt. Dit maakt het de cursist gemakkelijk zich de geleerde stof in het hoofd te prenten.
Ook hebben de auteurs, die in nauw contact staan met radio technische scholen, de waarde van vraagstukken maar al te goed leren kennen. Achter elke les is dan ook een aantal vragen ingelast, die de cursist bij zijn studie moet beantwoorden. Wil men nagaan of men de behandelde stof inderdaad begrepen heeft, dan is een serieuse beantwoording van deze vraagstukken noodzakelijk; zeker voor de zelfstudent.
Om het de zelf-student evenwel mogelijk te maken te contrôleren of zijn beantwoording van de vraagstukken juist is, werden ook de antwoorden ingelast. Om te voorkomen dat men vraag en antwoord tegelijk ziet, zijn deze antwoorden in gebonden vorm aan de cursus toegevoegd. Moge deze cursus, geschreven door auteurs die zelf midden in de practijk staan, voor allen, die zich voor radiomonteur willen bekwamen, of voor hen die reeds in de practijk werkzaam zijn en hun theoretische en practische kennis willen opfrissen, een leidraad bij hun studie zijn. Dan weten de auteurs zich beloond voor het vele, vele werk dat de samenstelling van deze inderdaad practische radiocursus eiste.

Eindhoven, Maart 1954

J. Otte
Ph. Salverda

VAN HET ELECTRON
TOT DE SUPER

INHOUD

A. ELECTRICITEIT

LES	HOOFDSTUK	TITEL
1	1	Wat is een atoom?
	2	Waaruit bestaat een atoom ?
	3	Wat is een electrische stroom?
	4	Spanning, stroom en weerstand
	5	Verband tussen spanning, stroom en weerstand. Wet van Ohm.
	6	Soortelijke weerstand.
	7	Warmteontwikkeling en vermogen.
	8	Invloed van de temperatuur op de weerstand (temperatuurscoëfficient)
2	9	Constructies van weerstanden
		a. Koolweerstanden
		b. Draadweerstanden
		c. N.T.C. weerstanden
	10	Serieschakeling van weerstanden.
	11	Constructies van potentiometers.
	12	Parallelschakeling van weerstanden.
3	13	Elementen.
	14	Lood-accumulator.
		a. Werking
		b. Constructie
		c. Onderhoud
	15	Schakelingen van elementen
		a. Serieschakeling
		b. Parallelschakeling
		c. Gemengde schakeling
		d. Oppositieschakeling
4	16	Magnetisme
	17	Het magnetische veld
	18	Electromagnetisme
	19	Spoel
	20	Spoel met ijzerkern
	21	Toepassingen van electromagnetisme
		a. Relais
		b. Electrische schel
5	22	Weekijzermeter
		a. Principe
		b1 Constructie
		b2 Demping
		b3 Schaal
		b4 Complete constructie
	23	Draaispoelmeter
		a. Principe
		b. Constructie

LES	HOOFDSTUK	TITEL
5	24	Het meten van stromen en spanningen.
		a. Het meten van stromen
		b. Het meten van spanningen.
		c. Gecombineerde spannings- en stroommeter
		d. Meting van meterweerstand
6	25	Wat is wisselstroom?
	26	Inductiespanning en inductiestroom.
	27	Zelfinductie.
	28	Opwekken van een wisselspanning.
	29	Maximale, gemiddelde en effectieve waarde van een wisselspanning en -stroom.
		a. Gemiddelde waarde
		b. Effectieve waarde
	30	De rijwieldynamo.
	31	De 'Philishave' motor.
7	32	Faze en Fazeverschil.
	33	Gedrag van een Ohmse weerstand aangesloten op een wisselspanning.
	34	Gedrag van een spoel aangesloten op een wisselspanning.
	35	Wederzijdse inductie.
	36	Serie- en parallelschakeling van spoelen.
	37	De transformator.
	38	Wisselstroomverliezen.
		A. Huideffect
		B. Wervelstromen
		C. Koperverliezen
	39	Het afschermen van spoelen.
	40	Constructie van spoelen en transformatoren.
		A. H.F. spoelen en transformatoren
		a. Spoelkoker
		b. Wikkeling
		c. De kern
		d. De afscherming
		B. Transformator voor lage frequenties
8	41	Capaciteit.
	42	Schakelingen van condensatoren.
		A. Parallelschakeling van condensatoren
		B. Serieschakeling van condensatoren
		C. Gemengde schakeling van condensatoren
	43	Het gedrag van een condensator op een wisselspanning.
	44	Constructies van condensatoren.
		A. Variabele condensatoren
		a. De luchttrimmer
		b. De keramische trimmer
		c. De draadtrimmer
		d. De micatrimmer

LES	HOOFDSTUK	TITEL
8	44	B. Vaste condensatoren
		a. De mica condensator
		b. De papiercondensator
		c. De keramische condensator
		d. De electrolytische condensator
		e. De temperatuurcompensatie-condensator
9	45	Luchttrillingen.
	46	Het geluid.
	47	Het menselijk oor.
	48	De microfoon.
		a. Koolmicrofoon
		b. Electrodynamische microfoon
		c. Condensatormicrofoon
		d. Kristalmicrofoon
	49	De luidspreker.
	50	De koptelefoon.

B. RADIOTECHNIEK

LES	HOOFDSTUK	TITEL
10	51	Het overbrengen van geluid over een grote afstand.
	52	Het ontvangtoestel.
	53	De gemoduleerde draaggolf.
	54	De afstemkring.
	55	Het bandfilter.
11	56	Detectie (demodulatie).
	57	Enige eenvoudige ontvangers met een Germaniumdiode.
	58	Wisselstroommeters.
12	59	De radiobuis.
		A. Electronenemissie
		B. De kathode
		C. Voedingsbronnen voor de gloeidraad
		D. Buistypen
		E. Constructie
		F. Typenummering
13	60	Gelijkrichting (Voedingsgedeelte).
		A. Gelijkrichter voor aansluiting op wisselspanningsnetten.
		B. Afvlakking
		C. Gelijkrichter voor aansluiting op gelijk- en wisselspanningsnetten.
	61	Detectie.
14	62	De triode.
	63	De inwendige weerstand van een radiobuis (Ri).
	64	De steilheid van een radiobuis (S).
	65	De versterkingsfactor van een radiobuis (u)
	66	Wet van Barkhausen.

LES	HOOFDSTUK	TITEL
14	67	Het versterken van wisselspanningen met behulp van een radiobuis.
15	68	L.F. versterking. A. De koppeling B. De anodevoeding C. Negatieve roosterspanning D. Volumeregeling
	69	Eindversterking.
	70	Aanpassing.
16	71	L.F. versterker met weerstandskoppeling.
	72	Smoorspoelkoppeling.
	73	Transformatorkoppeling.
	74	Penthode als L.F. versterker.
	75	De penthode als eindbuis.
	76	Schemabespreking.
	77	Practische wenken. A. Brom B. Microfonie
17	78	De triode als oscillator.
	79	H.F. Versterking.
18	80	De service-oscillator.
	81	De Philips service-oscillator GM 2884.
	82	De Philips service-oscillator GM 2883/02.
19	83	De H.F. versterker voor meerdere golfbereiken
	84	De golfbereikschakelaar.
	85	Fading of sluiering.
	86	Fafing compensatie of automatische versterkingsregeling (A.V.R.).
	87	Vertraagde automatische versterkingsregeling.
	88	Bromcompensatie.
	89	Schemabeschrijving.
20	90	Het universeel meetapparaat GM 4257. 1. De mogelijkheden. 2. Mechanische opbouw. 3. Electrische opbouw.
	91	De universele meetbrug 'Philiscop a. Principe van de brug van Wheatstone b. De 'Philoscop' GM 4144.
21	92	Principe van de superheterodyne ontvanger.
	93	De mengtrap.
	94	Schakelingen van mengbuizen. A. Triode-hexode en triode-heptode B. Heptode mengbuis.

LES	HOOFDSTUK	TITEL
21	95	Gegevens van mengbuizen.
		a. Mengsteilheid.
		b. Conversieversterking.
22	96	De buisvoltmeter.
	97	De Moullin voltmeter.
	98	GM 7635.
	99	Practisch gebruik van de GM 7635.
	100	De versterkervoltmeter GM 6005.
23	101	Een ontvangtoestel met 3 frequentiebereiken.
	102	L.F. tegenkoppeling.
	103	Compleet L.F. deel van een ontvanger.
24	104	Een tweede functie van de A.V.R.
	105	Bandspreiding.
	106	Ontvanger met bandspreiding.
		1. De Colpittsschakeling
		2. Parallelschakeling van S29 resp. S30
25	107	De voeding van het ontvangtoestel.
		a. Wisselstroomvoeding
		b. Gelijkstroom/wisselstroomvoeding
		c. Accuvoeding
		d. Batterijvoeding
		e. Batterij- en wisselstroomvoeding
	108	Afstemindicator.
		a. De afstemindicator, bekend onder de naam 'Magisch oog'.
		b. De afstemindicator DM 71
26	109	De toongenerator.
	110	De Philips toongenerator GM 2307.
	111	De Philips toongenerator GM 2315.
27	112	Het afregelen (trimmen) van een ontvanger.
		I M.F. kringen
		II Oscillator- en H.F. kringen
		III H.F. kringen met raamantenne
		IV H.F. kringen met 'Ferroceptor' antenne
		V M.F. antennefilter
	113	Trimvoorschrift van de superheterodyne-ontvanger van fig. 11.
28	114	Storingsonderzoek.
	115	De Philips signal-tracer GM 7628.
29	116	Een complete superheterodyne ontvanger.
	117	Het meten van de trapversterkingen.
30	118	Beschrijving van een superheterodyne ontvanger voor wisselstroomvoeding.

LES	HOOFDSTUK	TITEL
30	119	Het meten van de trapversterkingen.
31	120	Een luxe superheterodyne-ontvanger met balans-eindtrap. a. H.F.- en mengtrap b. M.F. trap c. A.V.R.-schakeling d. De volume- en toonregeling e. Balans-eindtrap + fase-omkeerschakeling f. Voeding g. Spanningen en stromen h. Het meten van de trapversterking
32	121	Frequentie-modulatie. 1. De frequentie-detector of discriminator 2. De amplitudebegrenzer 3. De M.F.-versterktrap 4. De antenne
33	122	Beschrijving van een gecombineerde AM/FM ontvanger. A. Beschrijving van het MF-gedeelte B. Beschrijving van het AM-gedeelte C. Het afregelen van de ontvanger
34	123	De electronenstraal-oscillograaf.
	124	De Philips electronenstraal-oscillograaf GM 5655/01.
35	125	Een toepassing van de electronenstraal-oscillograaf.
	126	De Philips frequentie-modulator GM 2886.
	127	Visuele controle van de afstemkromme.
36	128	De gramofoonplaat.
	129	Gramofoonopnemer of pick-up a. De electro-magnetische pick-up b. De electrodynamische pick-up c. De kristal pick-up
	130	De electrische gramofoon.
37	131	Mechanische constructies in ontvangtoestellen. a. Materiaaleisen en toleranties b. Levensduur c. Dode gang d. Contacten e. Smeermiddelen
	132	Luidsprekerreparaties.
	133	Het repareren van de golfbereikschakelaar.
	134	Het repareren van houten radiokasten.
	135	Schaalaandrijving.

LES	HOOFDSTUK	TITEL
38	136	Resumerend overzicht van de storingsdeterminatie.
	137	Netstoringen.
39	138	Inrichting van de werkplaats.
	139	Meubilair van de werkplaats.
	140	Verlichting van de werkplaats.
40	141	Gereedschappen.
41	141	Gereedschappen (voortzetting).
42	142	De electrische inrichting van de werkplaats. a. De antenne b. Aardleiding c. Maatregelen tegen netstoringen d. Electrische inrichting van de werktafel voor radioreparaties
	143	Wenken voor de veiligheid en gezondheid in de werkplaats.
	144	Eerste hulp bij ongelukken.

ALPHABETISCHE INDEX

	LES	Blz.
Aanpassing	15	7
Aanpassingstransformator	15	7
	16	4
Aanpassingsweerstand	15	7
Aardleiding	42	5-6
Accoustische terugkoppeling	8	14
Accumulator	3	4-8
Accuvoeding	12	5
	25	3
Afbuiggevoeligheid	34	9
Afbuigplaten	34	3-4
Afknijpspanning	14	4
Afregelen van een FM-ontvanger	33	8-9
Afregelen van kringen	27	1-8
Afschermen	7	11-12
Afscherming	7	14
	17	5
Afstemcondensator	8	13
Afstemindicator	25	8-12
	33	6
Afstemindicator DM 71	25	12
Afstemindicator EFM1	26	7
Afstemindicator EM34	25	10-11
Afstemkring	10	6-19
Afstemscherpte	25	8
Afvlakfilter	13	5-6
Afvlakking	13	5-7
AM/FM-ontvanger	33	1-8
Ampère	1	7
Ampèremeter	5	10
Ampère-windingen	4	6
Amplitude	6	11
Amplitude-begrenzer	32	10-11
	33	5
Amplitude-begrenzing	32	8, 10-11
Amplitude-modulatie	10	1
	11	1
	32	1-2
Anion	3	1
Anker	6	16
Anode	3	1
	12	1, 6
Anode batterij	3	3, 11
Anodedetector	22	2-3
Anodedissipatie	15	8
Anode-roostercapaciteit	17	3-4
Anodespanning	14	2
Anodestroom	14	2
Anodevoeding	15	2
Antenne	32	11-16

	LES	BLZ.
Antenne-aanleg	42	1-3
Antennefilter (MF)	23	5-6
	27	7
Antenne-isolator	42	2
Antennekoppeling, capacitieve-	11	7
	23	5
Antennekoppeling, inductieve-	11	7
	23	5
Antibromwikkeling	19	13
Atoom	1	2-4
Avegaar	41	13
A.V.R.	19	7-12
	24	1-3
A.V.R. spanning, controle van-	28	5
Automatische versterkingsregeling	19	7-12
	24	1-3
Autoradio	25	5-6
Autotransformator	11	14
Backlash	8	14
Balansschakeling	31	8-11
Bandbreedtemeting	35	9
Bandbreedteregeling	31	3
Bandfilter	10	17-19
Bandmicrofoon	9	6
Bandspreiding	24	3-6
Bankschroef	41	8
Barkhausen, wet van	14	8
Basschakelaar	23	12
	31	5
Basterdvijl	41	1
Batterij	3	10
Batterij, droge-	3	2-3
Batterij- en wisselstroomvoeding	25	6-7
Batterijvoeding	12	5
	25	6
Beaumé	3	7
Beampower buis	16	7
Bevestiging van spoelen	7	15
Binnencentrering	9	10-11
	37	5
Blikschaar	41	11
Blokvijl	41	1
Boorkop	41	3-4
Boormachine	41	3-4, 12
Boormachine, borst-	41	3
Boormachine, electrische hand-	41	12
Boormachine, electrische tafel-	41	4
Boormachine, hand-	41	3

	LES	Blz.
Brandblussers	42	12
Brom	12	5
	16	9
	29	1
	31	13
Bromcompensatie	19	12-13
Brug van Wheatstone	20	9-10
Buffercondensator	13	3
Buidelelement	3	3
Buigtang, platte-	40	12
Buigtang, ronde-	40	12
Buisvoltmeter	22	1-10
Buisvoltmeter GM 7635	22	5-9
Buitencentrering	9	10-11
Cag	17	3-4
Capaciteit	8	1-5
Capaciteit, eenheid van -	8	3
Capaciteitsmeting	20	6-7, 11
Capacitieve antennekoppeling	23	5
Cascade-ontvanger	10	3
	21	1
Cathode follower	22	8
Centerboren	41	13
Centerpons	41	2
Centrering van luidspreker	9	9-10
Centrifugale kracht	1	4
Collector	6	16
Colpitts-oscillator	17	3
	24	7-10
	31	3
Combinatietang	40	4
Compounderen	7	17
Condensator	8	2-20
Condensator, afstem-	8	13
Condensator, doos-	8	17
Condensator, electrolytische-	8	18-19
	13	7
Condensator, keramische-	8	18
Condensator, papier-	8	17
Condensator, persblok-	8	17
Condensator, rolblok-	8	17
Condensator, schuif-	8	14-15
Condensator, temperatuurcompensatie-	8	19-20
Condensator, trimmer-	8	15-16
Condensator, variabele-	8	13-16
Condensator, vaste-	8	17-19
Condensatoraandrijving	37	15

	LES	Blz.
Condensator op een wisselspanning	8	8-11
Contacten	37	3
Contactlippen, stator-	37	11-12
Contactstukken, rotor-	37	10-11
Conusmal	37	7
Conversiesteilheid	21	11
Conversieversterking	21	11
Coulomb	1	6
	8	3
Cycles per seconde (s/c)	6	10
Cylindrische wikkeling	7	14
Dassenklem	40	11
Demodulatie	11	1-5
Demping van een meter	5	3,9
Dempingskamer	5	2-3,5
Dempingsvleugel	5	2-3,5
Dempingswikkeling	5	10
Detectie	11	1-5
	13	9-11
Detector	10	3
	29	5
Detector, anode-	22	2-3
Detector, diode-	19	8
Diameter	1	9
Dielectriciteitsconstante	8	4
Dielectricum	8	4
Diode	12	1,6
	13	9
Diodedemping	23	2
Diodedetectie	13	9 11
Diodedetector	19	8
	29	5
Diode karakteristiek	12	7
Dipool antenne	32	16
Discriminator	32	3,5-10
Discriminatorkromme	33	4-5
Dode gang	37	3
Doofspanning	34	8
Doorslag	41	2,16
Doorslagspanning	34	8
Doorsnede	1	9
Doorverbindingen, rotor-	37	10-11
Dooscondensator	8	17
Dopsleutels	40	13
Dopsleutel voor electrolytische condensatoren	40	8
Draadpotentiometer	2	9

	LES	Blz.
Draadsnijden	41	6,15-16
Draadstripper	40	12
Draadtrimmer	8	16
Draadweerstand	2	3-4
Draadweerstand, geemailleerde-	2	4
Draadwijzer	5	3
Draaggolf	10	1,4
Draaicondensator	8	13
Draaispoelmeter	5	5-10
	11	8
Draaispoeltje	5	7-8
Drie-diodenschakeling	31	4-5
Drievinger-regel	6	9
Dubbelfasige gelijkrichter	13	9-10
	11	1-4, 7
Duodiode-pentnode	30	3
Duodiode-triode	14	2
	15	10
Dynamische karakteristieken	14	9
Dynamische steilheid	14	11
Dynamisch storingsonderzoek	28	1-2
Dynamo	6	7,14
Edelgasveiligheid	42	5
Eenknops afstemming	17	6
Effectieve waarde (van wisselstroom of spanning)	6	12
Ei-isolator	42	2
Eigen capaciteit	7	14
Eindbuis	15	6
	16	6
Eindversterking	15	5-6
	16	6
Electrische schel	4	10
Electrische stroom	1	5
Electro-dynamische luidspreker	9	9-11
Electro-dynamische microfoon	9	4,6-7
Electro-dynamische pick-up	36	5
Electrolyse	3	1
Electrolytische condensator	8	18-19
	13	7
Electrolytische condensator, meten van een-	20	13-14
Electromagneet	4	7
Electromagnetische demping	5	9-10
Electromagnetische pick-up	36	3-5
Electromagnetisme	4	4
Electromotorische kracht	1	5
Electron	1	3-4

	LES	Blz.
Electronenemissie	12	1-4
Electronenstraalbuis	34	2-5
Electronenstraal-indicator	25	8-10
Electronenstraal-oscillograaf	34	1-13
	35	1
Electronenstraal-oscillograaf, GM 5655/0'	34	11-13
Electronenstroom	1	5
Element	3	2
Element van Leclanche	3	2
Elementen, gemengde schakeling van-	3	11
Elementen, oppositieschakeling van-	3	12
Elementen, parallelschakeling van-	3	11
Elementen, serieschakeling van-	3	10-11
EMK	1	5
EMK van inductie	6	4-5
EMK van zelfinductie	6	6
Enkelfasige gelijkrichter	11	9
	13	1-2, 8-9
Enneode	32	8
Fading	19	5-7
	24	1
Fading compensatie	19	7-12
Farad (F)	8	3
Fase	6	12
	7	1-2
Fasedetector	32	8-10
Fase-omkeerbuis	31	12-13
Fase-omkeertrap	31	11-13
Fasevariatie	32	7
Faseverschil	7	1-2
Faseverschuiving	7	1-2
'Ferroceptor'-antenne	27	6
Figuurzaag	41	15
Fitting-schroevedraaier	40	6
Fluitfilter	31	7
Flux	4	4
Focusseren	34	3
Focusseringsanode	34	3
Formeren van een condensator	20	14
Frequentie	6	10
	9	2
Frequentieband	10	5
Frequentiedetector	32	5-10
Frequentie-karakteristiek	16	1
Frequentie-modulatie	10	1
	32	1-3
Frequentie-modulator	35	4

	LES	Blz.
Frequentie-modulator GM 2886	35	5-7
Frequentie-transformatie	21	1,8
	26	2
Frequentiezwaai	32	3
Gauss	4	7
Gedempte trilling	10	8
	17	1
Geleiders	1	6
Geleidingsvermogen	1	10-11
Gelijkrichtbuis	13	1,3
Gelijkrichter	11	2-4
	13	1-9
Gelijkrichter, dubbelfasige-	13	1-4,7
Gelijkrichter, enkelfasige-	13	1-2,8-9
Gelijkrichter, laad-	41	17
Gelijkrichting, dubbelfasige-	11	9-10
Gelijkrichting, enkelfasige-	11	9
Gelijkrichtkarakteristiek	11	3
	13	3
Gelijkspanningsmeting	20	4
Gelijkstroom	6	1
Gelijkstroommeting	20	4
Gelijkstroom-voormagnetisatie	31	9
Gelijkstroom/wisselstroomvoeding	12	6
	25	1-2
Geluidsterkteregeling	15	5
Gemengde schakeling van condensatoren	8	7-8
Gemengde schakeling van elementen	3	11
Gemiddelde waarde (van wisselstroom of-spanning)	6	11
Generator	17	1
Gereedschappen	40	1-13
	41	1-17
Germanium diode	11	3
Gloeidraad	12	2
Gloeidraadbrom	29	1-2
Gloeispanning	12	3
Golfbereiken	10	5
	19	1
Golfbereikschakelaar	19	1-5
Golfbereikschakelaar, repareren van	37	7-14
Golfgebieden	10	5
	19	1
Golflengte	9	2
	10	4
Graetz-schakeling	11	9-10
Gramofoon, electrische	36	7-8

	LES	Blz.
Gramofoonaansluiting	23	6
	36	6
Gramofoonmotor	36	7-8
Gramofoonopnemer	36	1-6
Gramofoonplaat	36	1-2
GW-voeding	12	6
	25	1-2
Hageleffect	30	2
Halfrond vijl	41	1
Halfzoet vijl	41	1
Hamer	41	2,8
Hamerslag	40	7
Handboormachine	41	3
Handpalmregel	4	6-7
Handzaag	41	11
Harmonische	31	9
Hartley-oscillator	17	3
	24	7
Heenslag	34	5
Hefooom-kniptang	41	7
Henry	6	7
Heptode	21	9-10
Herz	6	10
Hexode	21	9
H.F. spoelen	7	12-16
H.F. trillingen	10	1
H.F. versterker	19	1
H.F. versterking	17	3-6
Honingraatspoel	7	14
Hoogfrequent	6	10
Hoogkant kruiswikkeling	7	11
Huideffect	7	10
Impedantie	10	12
Inductie, magnetische-	4	2,7
Inductie, statische-	8	2
Inductiespanning	6	3-5
Inductiestroom	6	3-7
Inductieve antennekoppeling	23	5
Inloopgroef	36	2
Inwendige weerstand (Ri)	14	4-5
Ion	1	5
Ionosfeer	19	6

	LES	Blz.
Isolatiebeproeving	20	7
Isolator	1	6
Isolator, antenne-	42	2
Kanaal	10	5
Karakteristieken van een radiobuis	14	2-3
Kathode	3	1
	11	3
	12	1-5
Kathodekoppeling	22	8
Kathodestraaloscillograaf	34	1-13
	35	1
Kathodestraaloscillograaf GM 5655/01	34	11-13
Kathodeweerstand	15	3
Kation	3	1
Keelspiegel	40	8
Keramische trimmer	8	16
Kilo-Herz (kHz)	6	10
Kilo-ohm	1	7
Klankbord	9	11
Klankverstrooier	9	11
Klasse A-instelling	31	10
Klasse AB-instelling	31	11
Klasse B-instelling	31	11
Klauwhamer	41	2
Klauwplaten	41	8
Klemspanning	3	9
Kneep	12	9
Knijptang	41	15
Koevoetje	41	17
Kompas	4	1
Koolkamer	9	4
Koolmicrofoon	9	4-6
Koolpotentiometer	2	7-8
Koolweerstand	2	1-2
Koolweerstanden, standaardreeks-	2	2
Koperverliezen	7	11
Kopkniptang	40	12
Koppelcondensator	15	1-2, 6
Koppeling, kritische-	10	18-19
Koppeling, onderkritische-	10	18-19
Koppeling, overkritische-	10	18-19
Koptelefoon	9	11-13
Kortsluiting	3	9
Kortsluitstroom	3	9
Koubeitel	41	3
Kraakstoringen	38	4-5
Krachtlijnen	4	3-5

	LES	Blz.
Krachtstroom	4	4
Kraspen	41	10
Kristaldetector	11	3
Kristalmicrofoon	9	4,8
Kristalontvanger	11	6,8
Kristal-pickup	36	5
Kunstantenne	18	3,7
Kwadratische schaal	5	4
Kwaliteitsfactor (Q)	10	15
Laag doorlaat-filter	26	4
Laagfrequent	6	10
Laagfrequent-versterking	15	1-5
	16	1-5
Lading	1	3
Lamellen (kern)	7	11,17
Lange bektang	40	4
Lenz, Wet van -	5	10
L.F. generator	26	1
L.F. transformator	7	16,18
L.F. trillingen	10	1
L.F. versterker met smoorspoelkoppeling	16	2-3
L.F.versterker met transformatorkoppeling	16	3-4
L.F.versterker met weerstandskoppeling	16	1-3,5
L.F.versterking	15	1-5
	16	1-5
Lineaire schaal	2	8
	5	4
Liniaal, stalen -	41	16
Litzedraad	7	10
Logarithmische schaal	2	8
Loodaccumulator	3	4-5
Lopercontact van potentiometer	2	7-8
Lorentz-kracht	5	6-7
	9	9
Luchtdemping	5	2-3
Luchttrimmer	8	15
Lucht-zuurstof-element	3	4
Luidspreker	9	9-11
Luidsprekerreparaties	37	4-7
Luidsprekertransformator	15	7
	16	4
Magisch oog	25	8
Magneet	4	2
Magneet, permanente-	4	3
Magneetmal	37	4

	LES	Blz.
Magnetische inductie	4	2,7
Magnetische koppeling	7	7
Magnetische shunt	5	9
Magnetisch veld	4	3-5
Magnetische verzadiging	4	9
Magnetisme	4	1-3
Mal, 15° -	27	4
mA-meter	5	10
Maximaalschakelaar	42	8-9
Maximale waarde (van een wisselspanning of stroom)	6	10
Maxwell	4	4
Mechanische constructies	37	1-4
Meelopend geslingerde wikkeling	7	14
Meetapparaat, universeel -	20	1-9
Meetbrug, universele -	20	9
Meetkop GM 4575	34	12
Meetnauwkeurigheid	20	1
Meetsnoeren, rekje voor -	39	13
Megaherz (MHz)	6	10
Megohm	1	7
Membraan	9	5
Membraan-microfoon	9	6
Mengbuis	21	1-2,8-11
Mengsteilheid	21	11
Mengtrap	21	4-10
Meswijzer	5	3,5
Metaalgelijkrichter	20	9
Meten van meterweerstand	5	16
Meten van spanningen	5	13-15
Meten van stromen	5	10-13
Meterbeveiliging	20	8-9
	22	7
Meting van bandbreedte	35	9
Meting van electrolytische condensatoren	20	13-14
Meting van Ia/Vg en Ia/Va karakteristieken	14	2
Meting van trapversterking	29	3,6
M.F.afstemkromme	35	1-3
M.F.kringen	27	1-2
Micatrimmer	8	16
Microfarad (uF)	8	3
Microfonie	8	14
	16	9
Microfoon	9	3-8
	36	3
Microgroef-platen	36	2
Micro-Henry (µH)	6	7
Micromho	14	7
Middenfrequentie	21	1-2
Milli-Henry (mH)	6	7

	LES	Blz.
Miniatuurbuizen	12	11-12
Modulatie	10	2
	21	2
Modulatiediepte	10	4
Modulatiefrequentie	18	4
Modulatorbuis	21	2
Moduleren	10	1
Moersleutel, verstelbare-	40	11
Moleculair-magneetjes	4	2
Motor	6	16-17
Moullin voltmeter	22	1-2
Naijlen	7	5
Nano-farad (nF)	8	3
Negatief	1	3
Negatieve roosterspanning	15	3
Neonbuis	18	3-4
	34	7
Netstoringen	38	6-7
	42	6-7
Nonius	41	9
Noordpool van een magneet	4	1
Noval-buizen	12	11-12
N.T.C. weerstand	2	4-5
	13	9
	25	2
Nulindicator	20	11
	26	7
Nullast	3	10
Nulpuntscorrectie	5	2
Octalhuls	12	10-11
Oersted	4	4
Ohm	1	7
Ohm, wet van	1	8
Ohm per Volt (Ω/V)	5	15
Oliekannetje	40	10
Omslagboor	41	13
Ongedempte trilling	10	7
	17	1
Ongelukken, eerste hulp bij-	42	14-18
Ontkoppelcondensator	15	4
Ontkoppeling	15	4,9
Ontstoring	42	6-7
Oor	9	3
Oppositieschakeling van elementen	3	12

	LES	BLZ.
Opslingering	24	2
Oscillator	17	1-3
Oscillator, Colpitts-	17	3
	24	7-10
	31	3
Oscillator, Hartley-	17	3
	24	7
Oscillator, inductief gekoppelde-	17	1-3
Oscillator, T.P.T.G.-	17	3
Oscillatorfrequentie	21	4-5
Oscillatorschakeling	23	3-5
Oscillatorspanning, contrôle van -	28	5
Oscillograaf	34	1
	35	1
Oscilloscoop	34	1
Oxydkathode	12	3
Padding-afwijking	21	7
Padding condensator	21	6
Padding-kromme	21	6
Parallax	5	3
Parallelkring	10	11
Parallelschakeling voor condensatoren	8	6
Parallelschakeling van elementen	3	11
Parallelschakeling van spoelen	7	7
Parallelschakeling van weerstanden	2	9-12
Pentagrid	21	10
Penthode	12	10
	16	4-5
	17	4
Penthode als eindbuis	16	6
Penthode als L.F. versterker	16	4-5
Periode	6	10
Permeabiliteit	4	7
Permeabiliteitsfactor	4	9
Persblokcondensator	8	17
Philishave	6	16-17
Philoscope GM 4144	20	9-14
Physiologische volumeregeling	23	2
	31	5
Pick-up	36	1-6
Pick-up-aansluiting	36	6
Picofarad (pF)	8	3
Piëzo-electrische pick-up	36	5
Pincet	40	6
Platenwisselaar	36	9-10
Politoeren	37	14-15
Pompstengel	12	10

	LES	Blz.
Positief	1	3
Potentiometer	2	6-9
Potkern	7	14
Primaire	7	8
Proton	1	3
Puntlagering (van een meter)	5	2
Push-pull schakeling	31	8
Pijlwijzer	5	8
Pyrex-isolator	42	2
Raamantenne	27	6
Radiobuis	12	1-12
Radiogolven	10	1
Radiokasten, repareren van -	37	14-15
Rasp	41	1
Ratio-detector	32	5-8
	33	4
Rawlplug-beitel	41	14
RC-generator	26	8-9
Reactantie	7	4
Reactantie, capacitieve -	8	10
Reactantie van een spoel	7	4
Reactantiebuis	35	5
Rechtuit-ontvanger	10	3
Regelkarakteristiek	19	10, 12
Regelpenthode	19	8
Relais	4	9
Remanent magnetisme	4	3
Remrooster	16	4-5
Rendement	31	11
Reservoircondensator	13	3
Resonantie	10	10
Resonantiefrequentie	10	9-10
Resonantiekromme	10	17
	35	1-3, 7-9
Ri	14	4-5
Rimlockbuizen	12	11-12
Rimpelspanning	13	3-4
	15	10
	19	12
Rolblokcondensator	8	17
Rondvijl	41	1
Rooster	12	8
	14	1
Rotor	6	14
Rotor (van schakelaar)	19	2
Rotorplaten	8	13
Ruimtelading	12	2
	23	3

	LES	Blz.
Ruis	30	1-2
Rijwieldynamo	6	14-15
Schaalaandrijving	37	15
Schaalverlichtingslampje	2	4-5
	13	8-9
Schaar	40	5
Schakelaarsegment	19	2
Schakelaarvloeistof	40	9
Scheidingstransformator	27	8
	42	8
Schemabeschrijving	29	1-6
	30	1-5
	31	1-14
	33	1-8
Schermrooster	16	4-5
	17	4
Schropzaag	41	15
Schroevedraaier, haakse -	40	12
Schroevedraaiers	40	6
Schuifcondensator	8	14-15
Schuifmaat	1	9
	41	9
Schijnbaar vermogen	7	6
Secundaire	7	8
Secundaire emissie	16	4
Selectiviteit	10	15-17
	21	1,3
Seleencel	25	7
Seriekring	10	13
Serieschakeling van condensatoren	8	6-7
Serieschakeling van elementen	3	10-11
Serieschakeling van spoelen	7	7
Serieschakeling van weerstanden	2	5-6
Service-oscillator	18	1-9
Service-oscillator GM 2883/02	18	7-9
Service-oscillator GM 2884	18	5-7
Shunt, electrische -	5	10
Shunt, magnetische -	5	9
Shuntweerstand	5	11
Signaalvolger	28	2
Signal-tracer GM 7628	28	2-8
Signal-tracing	28	2
Sinusvormige spanning	6	10
Skin effect	7	10
	10	8
Slagcijfers	41	17
Slagletters	41	17

	LES	Blz.
Sleutel, verstelbare -	40	11
Sleutelbuizen	12	11-12
Sleutelvijltjes	41	15
Sluiering	19	5-7
Slijpmacnine	41	7
Smeermiddelen	37	3
Smoorspoelkoppeling	16	2-3
Snelheidsregelaar	36	8
Snijkop	41	15-16
Soldeerbout	1	11
	40	7
Soldeerbouthouder	39	6
Soldeercontact	38	1
Soldeerspiraal	39	6
Solenoide	4	5
Soortelijk geleidingsvermogen	1	10-11
Soortelijke weerstand	1	9
Spanning, eenheid van -	1	7
Spanningscarrousel	25	3
Spanningsdeler	2	6
Spanningsevenwicht	20	10
Spanningsgenerator, radiobuis als -	14	11
Spanningsmeter	5	13
Spanningsstabilisatie	18	3-4
Spanningstegenkoppeling	23	9-10
Spiegelaflezing	5	3
Spiegelfrequentie	21	7
Spiraalboren	41	5
Spoel	4	5-3
Spoel met ijzerkern	4	6-9
Spoel op een wisselspanning	7	3-6
Spoelmicrofoon	9	6
Spreekspoel	9	9
Stappen-potentiometer	2	9
Statische inductie	8	2
Statische karakteristieken	14	9
Stator	6	14
Stator van schakelaar	19	2
Statorplaten	8	13
Steekpasser	41	11
Steeksleutels	40	13
Steilheid	14	6
Steilheid, dynamische-	14	11
Stofbril	41	7
Stofkwast	40	9
Storingsdeterminatie	28	1-2
	38	1-6
Storingsonderzoek	28	1-2
Straling	18	2
Stroboscopische schijf	36	9

	LES	Blz.
Stroomcompensatie	22	4
Stroommeter	5	10
Stroomsterkte, eenheid van -	1	7
Stroomtegenkoppeling	23	9-11
Stroomtransformator	11	13-14
	20	4-5
Stuurrooster	12	8
	14	1-2
Subminiatuurbuizen	12	11-12
Sulfateren	3	6
Superheterodyne ontvanger	21	1-4
Synchronisatie	34	5
Synchroontriller	25	4
Tafellamp, verstelbare -	39	14
Taphouder	41	6
Tappen	41	6
Tegenfase	7	2
Tegenkoppel	5	2
Tegenkoppeling	15	4
	23	7-9
	29	2-3
Telefooncondensator	11	6
Temperatuurcompensatie-condensator	8	19
Terugslag	34	5
Testpennen	40	11
Tetrachloorkoolstof	40	9
Tetrode	17	4
Toongenerator	26	1-10
Toongenerator GA 2307	26	2-8
Toongenerator GA 2315	26	8-10
Toonregeling	16	8
	23	9-13
	31	5-7
T.P.T.G. oscillator	17	3
Transformatieverhouding	7	8
Transformator	7	8-9, 16
Transformatorkoppeling	16	3-4
Transport van apparaten	37	2
Trapversterking	24	2-3
	28	3-4
Trapversterkingsmeting	29	3-6
	30	4-7
Triller	25	3-6
Trilleromvormer	25	3
Trimdopsleutel	27	7
	40	10
Trimfrequenties	27	4-5

	LES	Blz.
Trimmer	17	6
	27	1
Trimmer, draad-	8	16
Trimmer, keramische -	8	16
Trimmer, lucht-	8	15
Trimmer, mica -	8	16
Trimmercondensator	8	15-16
Trimschroevedraaier	27	7
	40	10
Trimtransformator	18	1
	27	1
	40	11
Trimvoorschrift	27	9-10
Trimvoorschrift van F.M.-ontvanger	33	8-9
Triode	12	8
	14	1-8
Triode, dubbele -	31	12-13
Triode-heptode	21	8-9
Triode-hexode	21	8-9
Triple-diode-triode	33	5
Tijdas-generator	34	6-9
Typenummering van radiobuizen	12	12-13
Uitloopgroef	36	2
Universeel meetapparaat GM 4257	20	1-9
	38	2
Universeel meter	11	15-16
Universele shunt	5	12-13
Valproef	37	2
Veermoment	5	2
Veldsterkte	4	4
Veldsterkte, eenheid van-	4	4
Veldsterkte (bij een condensator)	8	5
Verlichting van werkplaats	39	13-14
Verliesweerstand	10	10
Vermogen, eenheid van -	1	12
Vermogen, electrisch -	1	12
Vermogen, schijnbaar -	1	6
Verstemming	23	3
Versterkbuis	14	8
Versterkervoltmeter GM 6005	22	8-10
Versterking	14	8-12
Versterkingsfactor	14	7
Vertraagde A.V.R.	19	10-12
	31	4

	LES	Blz.
Vervorming	16	1
	23	7-8
	31	9
Verzwakker	18	3
Vibrator	25	3-6
Vlakbeitel	41	7
Vliegwielaandrijving	8	14
Voeding	13	1-9
	25	1-7
	29	1
Voedingsgedeelte	13	1-9
Voedingstransformator	7	16-18
Volt	3	2
Volt-ampere (VA)	7	6
Voltmeter	5	13
Voltmeter, Moullin -	22	1-2
Volumeregeling	15	5
	23	2
Voorijlen	7	2
Vrije electronen	1	5
Vijlen	41	1, 15
Vijlenborstel	41	1
Watt	1	12
Wederzijdse inductie	7	6
Weekijzer	4	3
Weekijzermeter	5	1-5
	11	8
Weerstand	1	7
Weerstand, draadgewonden -	2	3-4
Weerstand, eenheid van -	1	7
Weerstand, kool -	2	1-2
Weerstand, N.T.C. -	2	4-5
Weerstand op een wisselspanning	7	3
Weerstand, soortelijke -	1	9
Weerstanden, codering van -	2	2-3
Weerstanden, constructies van -	2	1-4
Weerstanden, parallelschakeling van -	2	9-12
Weerstanden, serieschakeling van -	2	5-6
Weerstandskoord	2	4
Weerstandskoppeling	15	1-2, 6
	16	1-3, 5
Weerstandsmeting	20	6, 10
Wehnelt cylinder	34	3
Werklamp, verstelbare -	39	14
Werkplaatsinrichting	39	1-14
Werkplaatsinrichting, electrische -	42	1-9
Werktafel voor radioreparaties	39	4-5
	42	7-9

	LES	Blz.
Wervelstromen	7	11
Wet van Barkhausen	14	8
Wheatstone, brug van -	20	9-10
Wikkelmethode van spoelen	7	13-14
Windingsverhouding	7	8
Winkelhaak	41	10
Wisselspanning	6	8-14
Wisselspanningsmeter	18	1
Wisselspanningsmeting	20	4
Wisselstroom	6	1-3
Wisselstroommeters	11	8-16
Wisselstroommeting	20	5
Wisselstroomverliezen	7	10-11
Wisselstroomvoeding	12	6
Wisselstroomweerstand	7	4
Wobbler	35	4
IJzerpoederkern	7	11, 14
IJzerzaag	41	12
Zaag	41	11
Zaagtandgenerator	34	6-9
Zaagtandspanning	34	5-9
Zelfinductie	6	6
Zelfinductie, eenheid van -	6	7
Zelfinductie, variabele -	10	15-16
Zelfoscillerende mengbuis	33	3
Zender	10	1
'Zetten' van een zaag	41	11
Zoekstift	12	10
Zoetvijl	41	1
Zoetvijltje, driehoekig -	41	15
Zuidpool van een magneet	4	1
Zuurdichtheid	3	6-7
Zuurweger	3	6-7
	41	17
Zweving	31	7
Zijband	10	5
Zijsnijtang	40	4

VAN HET ELECTRON TOT DE SUPER

Motto: Theorie zonder practijk is lam
Practijk zonder theorie is blind

Sinds Marconi in 1896 de eerste draadloze verbinding tot stand bracht, heeft zich de radio-techniek enorm snel ontwikkeld. Naar schatting zijn op dit moment, over de gehele wereld verspreid, 170.000.000 radio ontvangtoestellen in gebruik; duizenden zenders verzorgen iedere dag de radio-programma's. Met recht kan worden gezegd, dat de radio vooral in de laatste 20 jaren de wereld verovert, zoals televisie het in de toekomst zal doen.

Het is duidelijk, dat voor het onderhoud van het millioenenleger van apparaten technische mensen onontbeerlijk zijn,mensen die de apparaten niet alleen kunnen bedienen, maar ook zo veel inzicht in de werking van het toestel hebben, dat zij het kunnen repareren en controleren. Het repareren van een ontvangtoestel is niet altijd een even eenvoudige zaak. Radio-techniek is een zeer interessant, maar ook een zeer gecompliceerd vak. Er gebeuren veel geheimzinnige dingen van de zender naar het toestel en in het toestel, waarvan men de gevolgen wel bespeurt en beluistert, maar niet ziet. Weet U bijvoorbeeld, dat tijdens het gebruik van het toestel milliarden kleine wezens, z.g. electronen, onophoudelijk in de weer zijn, om voor de goede werking van het apparaat te zorgen. Een inzicht in de werking van deze electronen is dan ook in de eerste plaats noodzakelijk, voordat met de eigenlijke radiotechniek kan worden begonnen.

We weten wel dat vele radio-ontvangers door vele monteurs worden gerepareerd, zonder dat ze dit inzicht hebben. Men verkrijgt inderdaad na geruime tijd een zekere 'feeling' waar een bepaalde fout schuilt. Indien men echter een enigszins gecompliceerd apparaat onder handen heeft, of men heeft zelfs een eenvoudiger apparaat waarbij een fout optreedt, die niet altijd voorkomt, dan komt men er alleen achter door systematisch het betreffende toestel door te meten. Dit is dan alleen mogelijk, indien men een goed inzicht in de werking van het apparaat heeft; vandaar de tweede zin van het motto dat '*practijk zonder theorie blind is*'.

Het doel van deze cursus is daarom, te trachten, U dit inzicht bij te brengen. Begonnen wordt met het electron,om via de theorie van de electriciteit, te komen op de radio-techniek.Denk dus niet, dat het begin weinig belangrijk is omdat U de electronen niet kunt zien. Juist het begin vormt de basis van de gehele electriciteits- en radioleer.

A. ELECTRICITEIT

1. Wat is een atoom ?

Stel U voor, dat U een vierkant blokje koper voor zich heeft, waarvan alle zijden even lang zijn, nl. 1 cm. De inhoud van dit blokje (we noemen dit een kubus) is dus 1 cm^3 (spreek uit : een kubieke centimeter).

U neemt een scherpe beitel en splijt het blokje in 2 helften. Een van die helften splijt U weer door midden en zo gaat U steeds door. Op het laatst worden die blokjes zo klein, dat ze met het blote oog niet meer te zien zijn. Als we nu in staat waren een beitel te vinden, die oneindig scherp was, en we voorzien waren van een bril die bijv. 100.000 maal vergrootte, dan zouden wij het blokje dus ca. 100.000 maal door midden kunnen splijten. Op het laatst komen we dan aan het allerkleinste deeltje; dit deeltje kan niet meer worden gesplitst zonder dat de eigenschappen van dat deeltje veranderen (d.w.z. dat dit op dezelfde wijze de warmte en de stroom geleidt, hetzelfde smeltpunt heeft enz.). Dit allerkleinste deeltje wordt een atoom genoemd. Alle stoffen als koper, ijzer, aluminium enz. zijn opgebouwd uit deze atomen.

Als men een blokje van 1 cm^3 ca. 100.000 maal door midden splijt, verkrijgt men het kleinste deeltje - het atoom

fig. 1

Om een indruk te geven hoe klein dit atoom is diene het volgende voorbeeld:

Als we een regendruppel 2000 millioen maal zouden vergroten tot de afmetingen van de aarde, dan zou het atoom met dezelfde vergroting zo groot zijn als een voetbal.

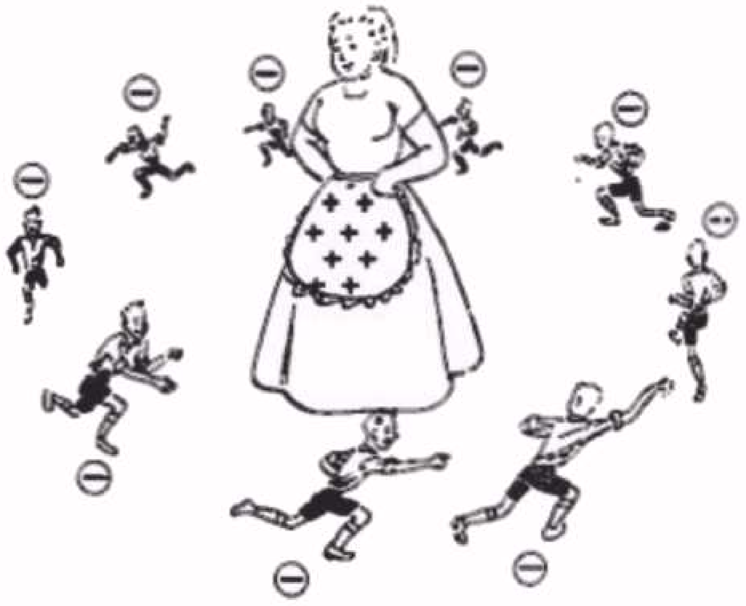
De onderlinge afstand van de atomen bedraagt ongeveer 10x hun diameter, zodat men het eigenaardige feit heeft, dat bijvoorbeeld een koperen staaf voor het grootste gedeelte uit een tussenstof bestaat en voor het kleinste gedeelte uit het koper zelf. Men zou zich wellicht af kunnen vragen hoe het komt, dat deze staaf niet uit elkander valt in allemaal kleine atomen. Tussen de atomen bestaat echter een zeer sterk verband (bekend onder de geleerde naam adhesie), dat voor een zeer sterke binding zorgt. Dat er ruimte tussen de atomen bestaat kan men echter eenvoudig demonstreren door een metalen kogel op een stenen vloer te laten vallen. Men ziet dan, dat deze kogel terug stuit, hetgeen het gevolg is van de verende werking van de tussenstof tussen de atomen.

Elk materiaal is elastisch.

fig. 2

2. Waaruit bestaat een atoom ?

Als we nu dit atoom met een nog grotere bril zouden kunnen bekijken, zouden wij duizelig worden van hetgeen we zouden zien: een hollen, draaien en wentelen van nog kleinere deeltjes om een kern. Het is net een dikke moeder, waar omheen haar kroost krijgertje speelt en ze elkander nooit krijgen. Technisch gesproken, worden die kinderen de *electronen* genoemd en de moeder de *kern* of het *proton*.
Deze electronen zijn de kleinst voorkomende hoeveelheden electriciteit;



Een atoom bestaat uit een positieve kern, waar omheen de negatief geladen electronen wentelen

fig. 3

men noemt dit een lading.
Men heeft berekend, dat deze kern een ca. 100 duizend maal kleinere doorsnede moet hebben dan het atoom zelf. Het electron is nog weer 1000 maal kleiner zodat het er eigenlijk op neer komt, dat zich in het atoom bijna niets bevindt.

De kern bezit eveneens een of meer ladingen electriciteit, die echter van natuur tegengesteld is aan die van de electronen. Franklin die o.a. bekend is als de uitvinder van de bliksemafleider, kenmerkte dit verschil in karakter door hen negatief (het electron) en positief (de kern) te noemen. Nu is het een feit, dat reeds vanaf de schepping van Adam en Eva verschillende wezens elkander aantrekken en gelijke wezens elkander afstoten. Zo is het ook met de electrische ladingen gesteld. De negatieve electronen, die dus allen dezelfde lading bezitten stoten elkander af, de electronen worden door de kern, die een tegengestelde lading bezit aangetrokken. Men zou nu geneigd zijn te zeggen, dat dan de kern de electron in het atoom geheel naar zich toe zal trekken, zodat bij aankomst op de kern het wentelen afgelopen moet zijn. Dit is niet het geval omdat deze electronen met grote snelheid rondwentelen en door dit wentelen een

Ongelijke ladingen trekken elkaar aan.

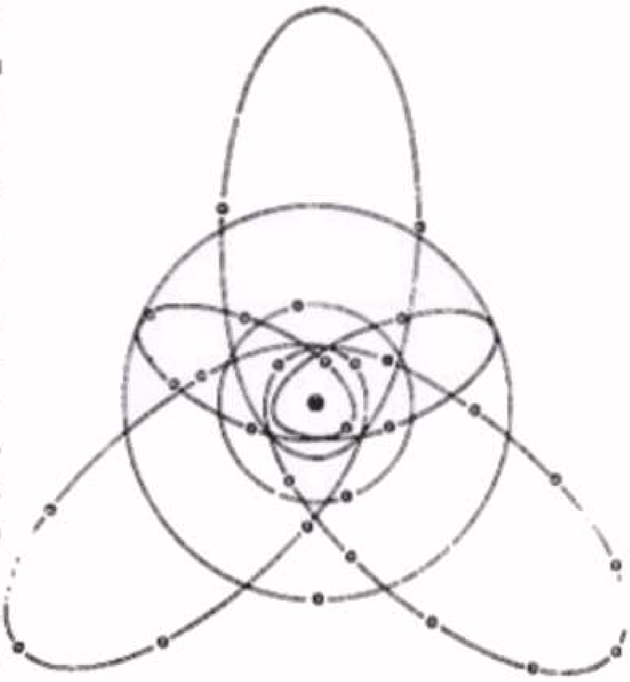
fig. 4

kracht naar buiten gericht krijgen (z.g. centrifugale kracht). Deze kracht is zo groot, dat ze juist de aantrekkende kracht van de kern compenseert. - U kunt deze naar buiten werkende kracht gedemonstreerd zien, door een emmer met water te vullen en deze snel rond te slingeren. U zult dan het merkwaardige feit zien, dat het water niet uit de emmer loopt ondanks het feit, dat de emmer horizontaal is gedurende het slingeren.

Zo ziet U de werking van de centrifugale kracht.

fig. 5

Komen wij thans terug op het atoom. Dit bestaat dus steeds uit een positief geladen kern met daar omheen een of meer wentelende electronen. De samenstelling van dit electronenbeeld is voor elke stof verschillend. Zo heeft bijvoorbeeld waterstof de eenvoudigste constructie: een electron om een kern. Bij koper wentelen 29 electronen om de kern; bij zilver 47 electronen en bij uranium het grootste aantal nl. 92. Bij de meeste stoffen bewegen deze electronen zich in verschillende banen om de kern: (bij koper heeft men bijv. om de kern een ringvormige baan met 2 electronen, daar omheen twee ellipsvormige banen met totaal 8 electronen, daar omheen drie ellipsvormige banen met elk 6 electronen en tenslotte een cirkelvormige baan met 1 electron). Zo heeft elk atoom zijn eigen samenstelling. Ook hier gaat het spreekwoord op: de kleren maken de man. Men vergelijkt het atoom wel eens met een ui , die voorzien is van verschillende lagen of schillen. Bij een atoom spreekt men inderdaad van een schil-constructie.



Bij koper wentelen 29 electronen om de kern.

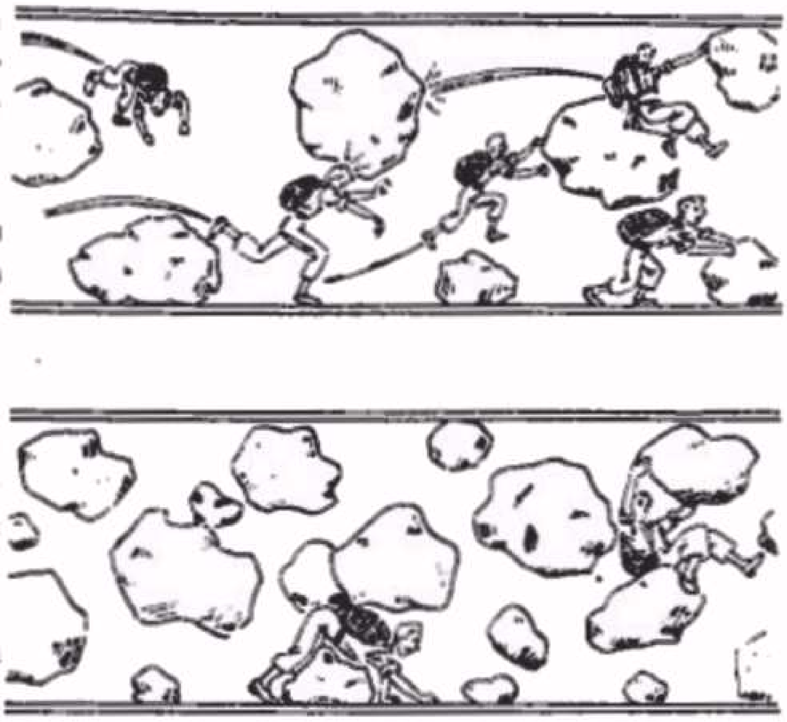
fig. 6

Aangezien de kern steeds een zodanige lading bezit, dat hij de ladingen van de electronen neutraliseerd, is het atoom in normale omstandigheden neutraal.

Nu wordt in bepaalde materialen een of meer electronen niet zo sterk door de kern gebonden als de andere electronen. In dat geval zal het soms gelukken om er een electron af te plukken, zodat het dan als een losse negatieve lading gaat zwerven. Het atoom dat dit electron kwijt raakt, is dan echter haar electrisch evenwicht kwijt; immer was in neutrale toestand de positieve lading van de kern gelijk aan de totale negatieve lading van de electronen. Valt er nu een electron af, dan wordt de totale negatieve lading klei-

ner dan de positieve lading van de kern, zodat het atoom een positief karakter verkrijgt. Men spreekt dan van een positief ion. *Een positief ion is dus een atoom met een tekort aan electronen.*

Bekijken we nu een draad koper. Deze draad bestaat dus uit atomen, die weer opgebouwd zijn uit een kern met electronen. Nu liggen deze atomen niet mannetje aan mannetje tegen elkaar, integendeel tussen die atomen bevindt zich een ruimte die gemiddeld 10 maal groter is dan de diameter van de atomen zelf. Een electron, dat nu bijvoorbeeld onder invloed van een andere atoom zich losgerukt heeft van zijn eigen atoom, zal nu gaan zwerven, kris kras tussen de atomen door. Soms komt het op een ander atoom terecht, soms botst het zodanig tegen een atoom, dat daardoor een ander electron vrij komt. Het hangt nu van de constructie van het materiaal af of er veel van die zwervende electronen aanwezig zijn tussen de atomen of weinig. Het zijn deze zwervende electronen, de z.g. vrije electronen, die voor het electriciteitstransport zorgdragen.



b

a. Bij een geleider zwerven veel vrije electronen tussen de atomen door;
b. Bij een isolator zijn bijna geen vrije electronen.

fig. 7

3. Wat is een electrische stroom ?

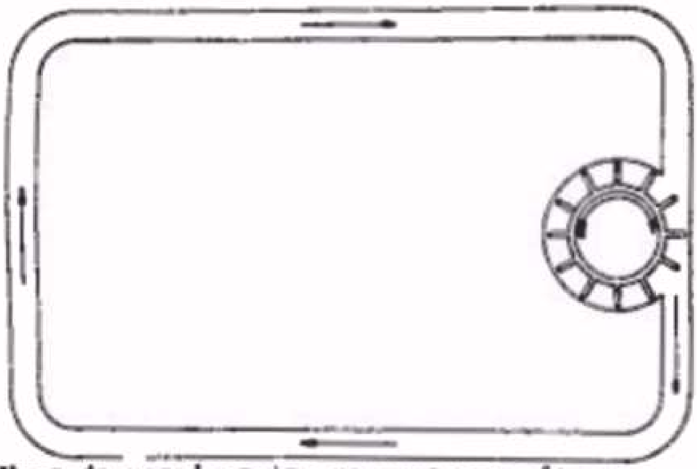
Zolang de koperdraad aan zichzelf wordt overgelaten, zwerven de vrije electronen tussen de atomen van die draad, maar komen niet van het materiaal af. Sluiten wij echter deze draad op een batterij aan, die een negatieve pool en een positieve pool bezit, dan zullen de vrije electronen in de draad onder invloed van de stuwkracht, die de batterij uitoefent, in de richting van de positieve pool gestuwd worden. Deze stuwkracht, welke bij een batterij de 'electromotorische kracht' wordt genoemd (afgekort E.M.K.) wordt uitgedrukt in volts. Hierop komen wij nog in les No. 3 terug.

Tengevolge van deze electromotorische kracht heeft er dus een electronenverplaatsing in de koperdraad plaats.

Deze electronen-verplaatsing noemt men een electronenstroom of electrische stroom.

Men kan deze electronenstroom aantonen door tussen de draad en een van de polen van de batterij een stroommeter te plaatsen.

Een volkomen analogisch voorbeeld ziet men bij de verplaatsing van water. In fig. 8 heeft men een gesloten kanalenstelsel waarin zich water bevindt. Zolang er op dit water geen uitwendige invloed wordt uitgeoefend, gebeurt er niets met dit water. Brengt men echter in een van deze kanalen een schoepenrad aan, dat met een motor is gekoppeld, dan verkrijgt men een verplaatsing van het water op dezelfde wijze als met de vrije electronen in de koperdraad.

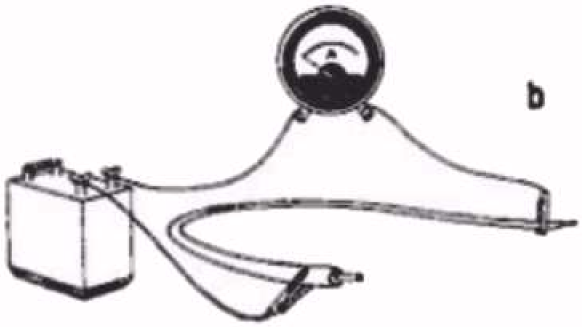


Voor de verplaatsing van water neeft men een stuwkracht nodig. Zo is het ook bij electriciteit.

fig. 8

Men heeft ook materialen, bijvoorbeeld pertinax, gummie enz. waarbij de atoomconstructie zodanig is, dat er practisch geen vrije electronen kunnen ontstaan; dus waarbij de electronen in de banen om de kern zodanig door de kern worden vastgehouden, dat ze zich niet uit de baan kunnen losrukken. Het zal duidelijk zijn, dat bij een dergelijk materiaal weinig electronenverplaatsing plaats heeft, ondanks het aanbrengen van een stuwkracht. Men noemt dergelijke materialen slechte geleiders of ook wel isolatoren. De materialen als koper en zilver, waarin juist zeer gemakkelijk electronen-verplaatsing optreedt noemt men goede geleiders.

a



b

a. Sluit men de stroombron via een meter op de kerndraad aan, dan slaat de meter uit. Er loopt dus stroom.

b. De isolatie van de draad geleidt de stroom practisch niet en de meter slaat dus niet uit.

fig. 9

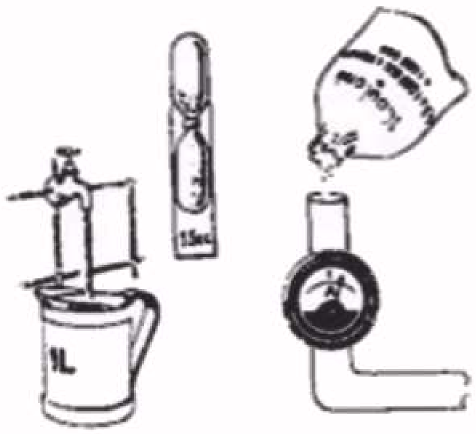
4. Spanning, stroom en weerstand.

Zoals men waterstroom in een bepaalde maat kan uitdrukken nl. in liters per seconde, zo zou men ook de electronenstroom (of electrische stroom) in het aantal electronen per seconde kunnen uitdrukken. Aangezien de lading van het electron de kleinste hoeveelheid electriciteit is, zou dit in de practijk tot dwaze grote getallen voeren.
Men heeft daarom de eenheden Coulomb en Ampere ingevoerd. *De coulomb drukt een hoeveelheid electriciteit uit*, ze is nl. gelijk aan

ca. 6,3 millioen x millioen x millioen electronen. *Een Ampere is de eenheid van stroomsterkte d.w.z. de hoeveelheid electronen per seconde*, in dit geval een hoeveelheid van 1 Coulomb per seconde. Omdat een Ampere voor vele doeleinden een te grote maat was, heeft men bovendien de begrippen milli-ampere (mA) en micro-ampere (µA) ingevoerd.

1 A = 1000 mA = 1.000.000 µA of
1 mA = 1/1000 A = 1000 µA

Uit het feit dat de samenstelling van de diverse materialen verschillend is, volgt, dat de electronen op hun weg in het ene materiaal meer tegenstand ondervinden dan in het andere. Men noemt dit in de electriciteit de weerstand. In een geleider waarin, zoals wij reeds gezien hebben, vele vrije electronen aanwezig zijn en waardoor bij een bepaalde stuwkracht of E.M.K. een grote electronen-verplaatsing optreedt, zal de weerstand gering zijn; bij een isolator, daarentegen, zal bij dezelfde stuwkracht het aantal electronen, dat zich per seconde verplaatst, zeer gering zijn; dit komt dus hierop neer, dat de isolator een zeer grote weerstand bezit. *Deze weerstand drukt men uit in Ohm(Ω)* (Ω is de Griekse hoofdletter omega). Aangezien men in de practijk o.a. met materialen te doen heeft, die een zeer grote weerstand bezitten, is de Ohm soms een te kleine maat, zodat men ook de grootheden kilo-ohm en megohm heeft ingevoerd.



De stroomsterkte van 1 A is de hoeveelheid electronen van 1 Coulomb per sec.

fig. 10

1 kilo-ohm = 1 kΩ = 1000 Ω ;
1 megohm = 1 MΩ = 1000 kΩ = 1.000.000 Ω

De eenheid van E.M.K., dus van de stuwkracht, is de Volt (afgekort V). De Volt is nu de stuwkracht die nodig is, om in een stroomkring met een weerstand van 1Ω een stroomsterkte van 1 A op te wekken.

5. Verband tussen spanning, stroom en weerstand. Wet van Ohm

Wij sluiten nu een draad met een bepaalde weerstand aan op een batterij met een E.M.K. van 1,4 V, in serie met een stroommeter. Bij een bepaalde weerstand van deze draad wijst de stroommeter bijvoorbeeld een waarde van 0,1 A aan. Gaan we nu de druk op de electronen verhogen d.w.z. vergroten wij de E.M.K. van de batterij bijv. tot 2,8 V, dan zal men de stroommeter zien uitslaan tot 0,2 A. Het blijkt dus, dat bij een bepaalde weerstand een 2x zo hoge spanning een 2x zo grote stroomsterkte tot gevolg heeft. Herhalen wij dit proces voor verschillende spanningen, dan zal men steeds bij dezelfde weerstand een evenredig grotere of kleinere stroom meten.

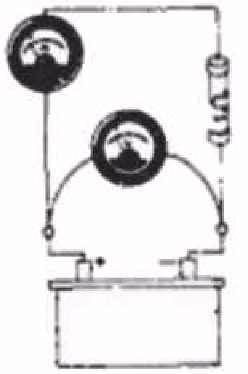
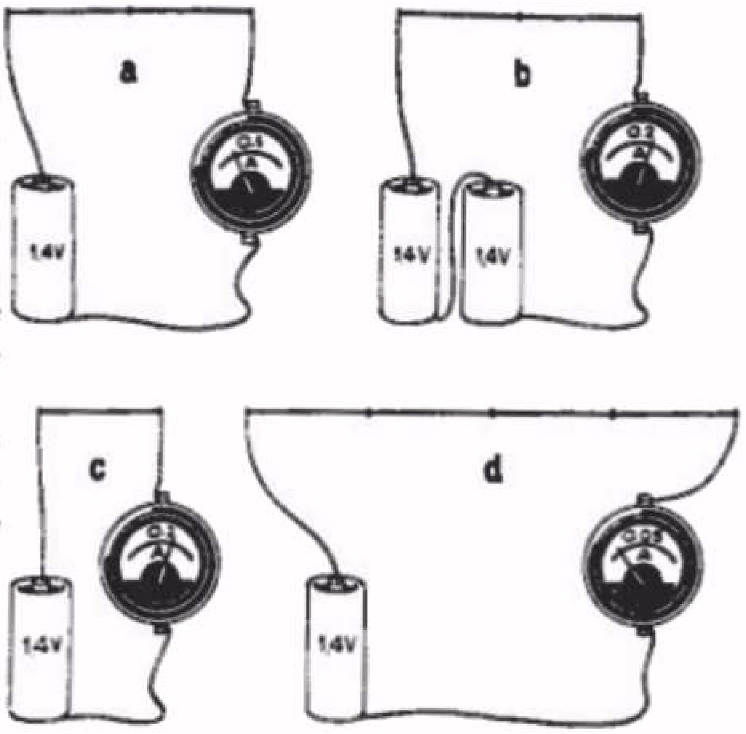

De Volt is de stuwkracht, die nodig is, om in een stroomkring met een weerstand van 1Ω een stroomsterkte van 1 A op te wekken.

fig. 11

Een zelfde verschijnsel ziet men als de E.M.K. van de batterij dezelfde blijft, doch nu de lengte van de draad wordt veranderd. Gaan we weer uit van het voorgaande voorbeeld:
bij 1,4 V een stroomsterkte van 0,1 A en maken wij nu de draad de helft korter, dan zal men de stroommeter weer tot 0,2 A zien uitslaan. Dit is vrij logisch, aangezien door de kortere lengte van de draad de electronen over een kortere afstand een weerstand hebben te overwinnen, zodat dit eigenlijk op een in totaal kleinere weerstand neer komt. Zouden wij de draad in plaats van de helft verkorten 2x zo lang maken, dan ziet men daarentegen de meter minder uitslaan nl. tot 0,05 A. Nu is immers de weg voor de electronen 2x zo lang geworden zodat ook de tegenstand, die ze hebben te overwinnen d.w.z. de weerstand, 2x zo groot is. Ook hierbij ziet men dus weer een vast verband tussen de stroomsterkte en de weerstand bij een bepaalde E.M.K. Bij dezelfde E.M.K. had een 2x grotere weerstand een 2x kleinere stroomsterkte tot gevolg. Men kan dit verband op de volgende wijze neerschrijven:



a. Bij een draad van 2 lengtes vloeit bij 1,4V een stroom van 0,1 A;
b. Voor dezelfde draad wordt de stroomsterkte 2x zo groot als de E.M.K. 2x zo groot is;
c. Kort men de draad in tot 1 lengte dan wordt de stroomsterkte bij 1,4 V 0,2 A en
d. maakt men de draad 4 lengtes lang dan wordt de stroomsterkte 4x kleiner dus 0,05 A.

fig. 12

$$\text{stroomsterkte} = \frac{E.M.K.}{\text{weerstand}}$$

$$\text{of } I = \frac{E}{R} \quad (1)$$

In de laatste vorm zijn de letters I, E en R de symbolen voor stroomsterkte, spanning en weerstand. Het verband in deze formule uitgedrukt, noemt men de *wet van Ohm*.

Men kan deze formule natuurlijk ook op een andere wijze schrijven nl.

$$E = I \times R \quad (2) \text{ en}$$

$$R = \frac{E}{I} \quad (3).$$

Indien men van een bepaalde stroomkring twee grootheden weet, kent men dus ook de derde.

Voorbeeld:

a) Op een batterij van 90 V is een weerstand van 900 Ohm aangesloten. Volgens formule (1) weet men dus nu onmiddellijk de stroomsterkte nl. 90 : 900 = 0,1 A.

b) In een stroomketen vloeit een stroom van 10 mA door een weerstand van 100 Ohm. De spanning over die weerstand bedraagt nu, volgens formule (2) :

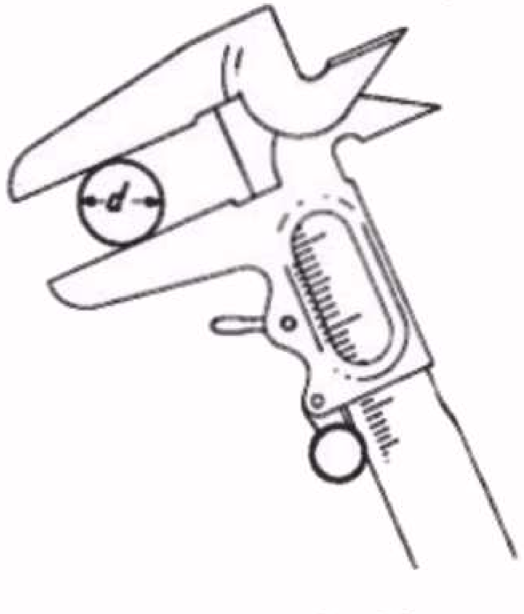
$$EMK = \frac{10}{1000} \times 100 = \frac{1000}{1000} = 1 \text{ V}$$

c) Op een gloeistroombatterij met een E.M.K. van 1,5 V is de gloeidraad van een batterijbuis aangesloten in serie met een stroommeter. De meter wijst een stroomsterkte aan van 100 mA = 0,1 A. Volgens formule (3) weten wij nu onmiddellijk de weerstand van de gloeidraad nl. 1,5 : 0,1 = dus 15 Ohm.

6. Soortelijke Weerstand

Om de weerstanden, die de verschillende materialen aan de electronenstroom bieden, met elkander te kunnen vergelijken, heeft men het begrip *soortelijke weerstand* ingevoerd. Dit *is de weerstand van een draad, die 1 m lang is met een doorsnede van* $1 mm^2$ *bij een temperatuur van 15°C.* x)

De diameter kan men bijv. meten met een schuifmaat of, bij heel dunne draad, met een micrometer. De doorsnede daarentegen kan men niet meten. Men zal dus om de doorsnede van een bepaalde draad te weten, de diameter moeten meten en de doorsnede dan berekenen aan de hand van onderstaande formule.



De diameter van een draad kan men meten; de doorsnede moet men helaas berekenen.

fig. 13

Voorbeeld:

Een draad is 0,5 mm dik. Dit is dus de diameter. De doorsnede x) bedraagt nu 1/4 x 3,14 x 1/2 x 1/2 = 0,196 mm^2 = ca. 0,2 mm^2.

Wij hebben reeds bij het behandelen van de wet van Ohm gezien, dat een draad met een bepaalde lengte een 2x zo grote weerstand krijgt als de lengte verdubbeld wordt.
De weerstand van een draad is dus afhankelijk van de lengte. Laten wij van deze draad de lengte ongewijzigd, doch maken wij de diameter groter, dan krijgen de electronen meer ruimte om zich in de draad te verplaatsen d.w.z. de draad zal minder weerstand hebben. Hieruit ontstaat dan de volgende formule voor de weerstand van een bepaalde draad.

x) De doorsnede van een draad is de oppervlaktemaat. Het is te bewijzen, dat van een ronde draad de doorsnede q gelijk is aan: $q = 1/4 \pi d^2 = 1/4 \times 3,14 \times d \times d$.
Hierin beduidt: π = een vast getal gelijk aan 3,14 = ~~3 1/7~~ 21/7.
d = de diameter van de draad.

$$\text{weerstand} = \frac{\text{soortelijke weerstand x lengte}}{\text{doorsnede}} \text{ of } R = \frac{S.W. x l}{q}$$

Hierin betekent S.W. de soortelijke weerstand, l de lengte van de draad in meters en q de doorsnede van de draad in mm^2.

In de tweede kolom van onderstaande tabel vindt U de soortelijke weerstand van verschillende metalen vermeld. Hieruit blijkt, dat zilver en koper de minste weerstand bezitten, manganine, nickeline en konstantaan, vergeleken met zilver en koper, juist een zeer hoge weerstand hebben. De laatstgenoemde materialen worden dan ook dikwijls gebruikt voor het samenstellen van weerstanden, terwijl koper en zilver door hun geringe weerstand goede geleiders zijn. Op de 2 andere kolommen komen wij nog in de volgende paragraaf terug.

Metaal	Soortelijke weerstand S.W.	Soortelijk geleidings-vermogen	Temperatuurs-coëfficien bij 15°C
zilver	0,016	62,5	0,0038
koper	0,0172	58,2	0,0039
aluminium	0,03	33,3	0,0036
zink	0,063	15,9	0,0037
tin	0,12	8,33	0,0045
ijzer	0,12	8,33	0,0045
lood	0,208	4,81	0,004
manganine	0,43	2,326	0,000015
nickeline	0,43	2,326	0,00023
konstantaan	0,5	2	0,000025

Voorbeeld:

Een spoel is gewikkeld met 500 m koperdraad met een dikte van 0,075 mm. Hoeveel weerstand zal deze spoel bezitten ?

Oplossing:

Deze weerstand bepalen wij aan de hand van de formule:

$$\text{weerstand} = \frac{\text{S.W. x lengte}}{\text{doorsnede}}$$

De doorsnede is gelijk aan:

$$1/4 \times 3,14 \times 0,075 \times 0,075 = 0,0044 \text{ mm}^2.$$

De soortelijke weerstand van koper staat in bovengenoemde tabel; zij is gelijk aan 0,0172 Ohm. De weerstand van de spoel is nu:

$$\frac{0,0172 \times 500}{0,0044} = \text{ca. } 2000 \text{ Ohm} = 2 \text{ k}\Omega$$

Uit het feit, dat een draad met weinig weerstand de electrische stroom goed geleidt en een draad met een grote weerstand slecht geleidt, drukt men deze eigenschap ook wel uit in het geleidingsvermogen. Dit is dus juist de tegengestelde eigenschap van de weerstand. Men spreekt ook wel van het soortelijk geleidingsvermogen, dat het omgekeerde is van de soortelijke weerstand. Dus:

$$\textit{soortelijk geleidingsvermogen} = \frac{1}{\textit{soortelijke weerstand}}$$

In de voorgaande tabel is in de derde kolom voor de verschillende metalen eveneens het soortelijk geleidingsvermogen vermeld.

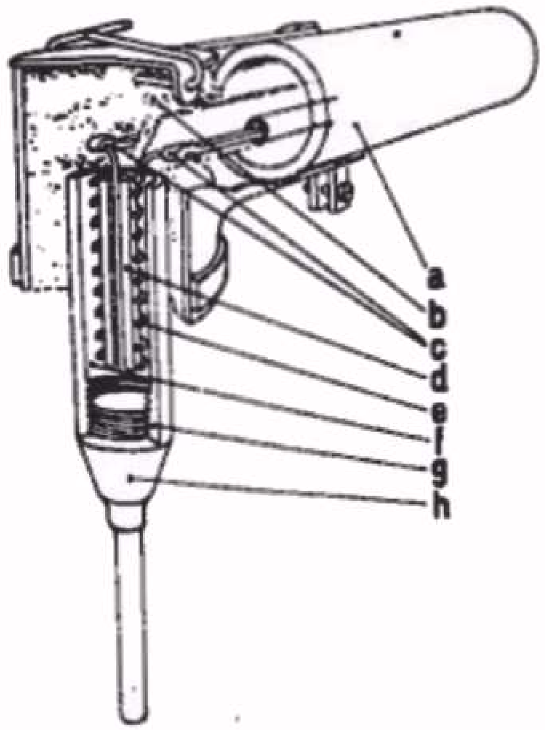
7. Warmte-ontwikkeling en vermogen

Als de vrije electronen onder invloed van de E.M.K. als stuwkracht door de draad worden gestuwd, moeten zij een bepaalde weerstand overwinnen. In een goede geleider, zoals koper, zal deze weerstand gering zijn; in een minder goede geleider, zoals konstantaan, is de te overwinnen weerstand daarentegen vrij groot. Deze electronen moeten dus arbeid verrichten. Door deze arbeid wordt de draad warm en de temperatuur in de draad zal des te hoger worden naarmate meer electronen in de draad werkzaam zijn d.w.z. naarmate de stroomsterkte groter is. Men kan dit het beste vergelijken met zichzelf. Maakt men een grote wandeling, dan verricht het lichaam arbeid. Als deze wandeling lang genoeg is, krijgt men het warm en wordt men hongerig. Het laatste duidt juist op het verbruik van energie van het lichaam.

Bij een wandeling verricht het lichaam arbeid.
fig. 14

In de electriciteit maakt men van deze warmte-opwekking door de electrische stroom veel gebruik, bijv. bij de electrische kachel, electrische soldeerbout.

Bij de soldeerbout heeft men een weerstandselement, dat bestaat uit een bepaalde lengte weerstandsdraad, meestal chroom-nikkel, dat op een isolerend lichaam is gewonden. Dit weerstandselement wordt nu aangebracht om een koperen stift of in een koperen bus (zoals in fig. 15), dat het warmte-overbrengend lichaam is.



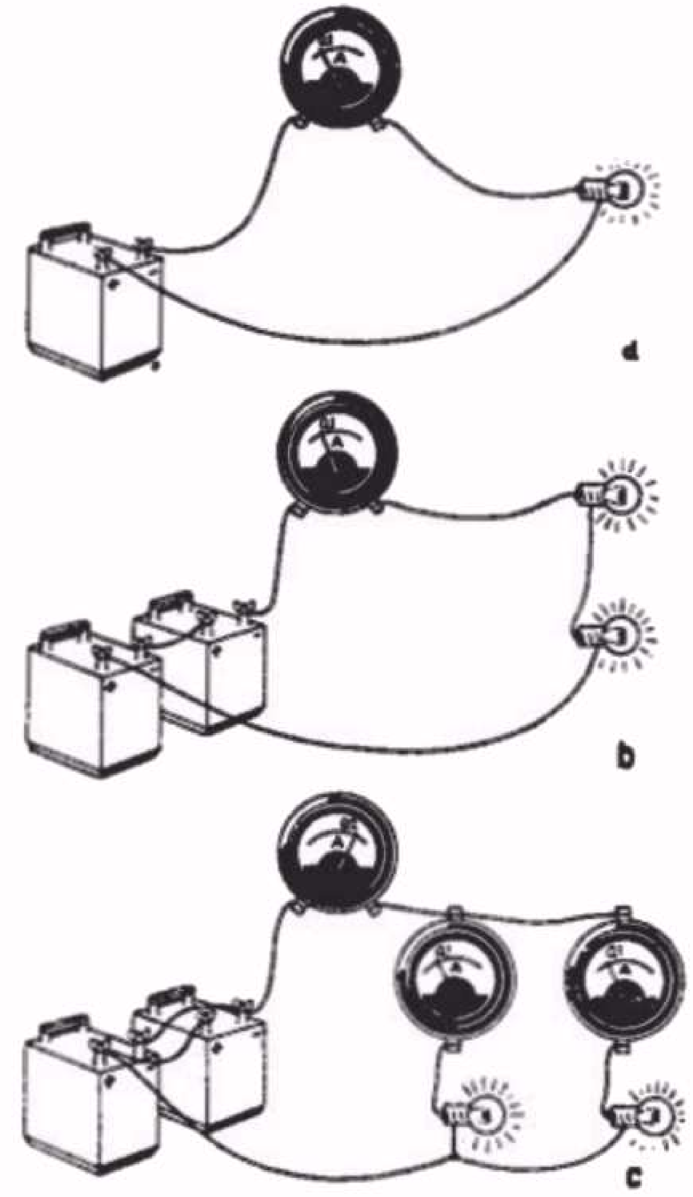
Doorsnede-tekening van een electrische soldeerbout.

a) glazen isolerende handgreep
b) asbest isolatie
c) toevoerdraden van het electrisch verwarmingselement
d) isolatiebuisje, waarop de weerstandsdraad is gewikkeld
e) de weerstandsdraad van het verwarmingselement
f) isolatie tussen de uitwendige warmtegeleider g en het verwarmingselement e
g) warmtegeleidend huis
h) soldeerstift van warmtegeleidend materiaal

fig. 15

Men neme nu de volgende proef. Op een accu van 4 V sluiten wij een gloeilampje en een stroommeter aan. (fig. 16a). De stroommeter wijst 0,1 A aan, het lampje brandt en geeft licht. Hier wordt de electrische stroom in warmte en licht omgezet en er wordt dus arbeid verricht. Vervolgens sluiten wij 2 lampjes en een stroommeter op 2 accu's aan zoals dat in fig. 16b getekend is. De spanning is nu 2x zo groot nl. 8 V, de stroommeter wijst weer 0,1 A aan, echter geven nu 2 lampjes licht. Wij hebben dus een 2x zo grote lichthoeveelheid bij een 2x zo hoge spanning. Het vermogen is dus blijkbaar afhankelijk van de spanning.

Nu sluiten wij de 2 verlichtingslampjes aan volgens de tekening in fig. 16c. In elke tak nemen wij een stroommeter op. De meters achter de lampjes wijzen elk weer 0,1 A aan, de meter in de hoofdleiding daarentegen 0,2 A. Wij hebben nu dus bij dezelfde spanning een 2x zo grote stroom, echter ook 2x zo veel licht. Het vermogen is dus ook afhankelijk van de stroomsterkte. Wij komen op deze wijze tot de formule:



Bij aansluiting van een lampje wordt electrische energie in licht en warmte omgezet. De energie is evenredig met de spanning en met de stroomsterkte.

fig. 16

vermogen = spanning x stroom

of in symbolen geschreven:

$$W = E \times I.$$

De eenheid van vermogen is de Watt (afgekort W), die wordt ontwikkeld als de stroomsterkte in de draad 1 A is bij een spanning van 1 V.

Uit de wet van Ohm hebben wij geleerd, dat E =
Dit ingevuld in bovenstaande formule geeft:

$$W = I \times I \times R = I^2 R.$$

Hoe langer de lampjes op de accu blijven aangesloten, des te langer moeten de zwervende electronen arbeid verrichten, arbeid die uiteindelijk moet worden omgezet in licht en warmte. De arbeid is dus ook afhankelijk van de tijd, zodat men de arbeid uitdrukt in Watt/Seconde. Een practische maat is de kilo-Watt-uur (afgekort

kWh). Aangezien 1 kW 1000 W is en 1 uur gelijk aan 60 x 60 sec, is 1 kWh gelijk aan 1000 x 60 x 60 W/sec.

Ter illustratie het volgende voorbeeld:

Gevraagd wordt het verbruik van een radiotoestel per week te berekenen dat per dag ca. 5 uur speelt. Het vermogen van het toestel is 60 W.

Oplossing:

Het toestel is per week 7 x 5 uur = 35 uur in gebruik. Het verbruik van het toestel is dus 35 x 60 W is 2100 Wh = 2,1 kWh.

8. Invloed van de temperatuur op de weerstand (temperatuurscoëfficient)

Zoals reeds in het begin vermeld, is de electrische stroom niets anders dan een leger van vrije electronen, dat zich tussen de atomen door onder invloed van de electromotorische kracht van de stroombron verplaatst. Tot nu toe is daarbij de temperatuur buiten beschouwing gelaten. Toch kan deze factor terdege invloed uitoefenen en in het licht van de in het voorgaande verklaarde electronentheorie is deze invloed zeer verklaarbaar.

Als men nl. een materiaal verwarmt, komen de atomen in steeds heftiger trilling. De mogelijkheid van botsing van de vrije electronen met de atomen wordt hierdoor groter, zodat ze bij hun verplaatsing door de draad een grotere weerstand ondervinden. Behoudens een enkele uitzondering wordt de weerstand van een materiaal dan ook groter naarmate de temperatuur toeneemt. Men drukt dit uit in de z.g. *temperatuurs-coëfficient* Dit is *de factor waarmede de electrische weerstand van een bepaald materiaal per graad celcius per Ohm weerstand toe- of afneemt*. Bij stijging van de weerstand is deze factor positief, bij daling van de weerstand negatief. In de tabel van paragraaf 5 is voor de genoemde materialen in kolom 4 de temperatuurs-coëfficient vermeld. Hierin ziet men, dat een koperdraad waarvan de weerstand 1 Ohm is, bij een verhoging van de temperatuur van 1°C, met 0,0039 Ohm toeneemt. Bij een temperatuursverhoging van 10° C dus 10 x 0,0039 is 0,039 Ohm. Als de weerstand 50 Ohm bedraagt zal dit bedrag nog eens met 50 moeten worden vermenigvuldigd.

De weerstand van de meeste materialen wordt groter als de temperatuur toeneemt

fig. 17

Het zal duidelijk zijn, dat men bij de keuze van de weerstandsmaterialen er rekening mee moet houden, dat deze temperatuurs-coëfficient niet te hoog ligt. Men zou anders met de weerstandswaarde van een bepaalde weerstand rekenen, terwijl deze weerstand bij een veel hogere temperatuur, bijv. in de tropen, een geheel andere waarde zou hebben.

In enkele gevallen maakt men doelbewust gebruik van deze temperatuursafhankelijkheid. Wij komen hierop terug bij de behandeling van de N.T.C. weerstand in paragraaf 9c.

SAMENVATTING

1) Een electrische stroom is een verplaatsing van electronen.

2) Men drukt de stroomsterkte (hoeveelheid electronen per sec.) uit in Ampere (A).

3) De door de stroombron uitgeoefende stuwkracht noemt men de electromotorische kracht (E.M.K.) of ook wel spanning.Men drukt deze uit in Volt (V).

4) De weerstand, die de electronen op hun weg ondervinden, drukt men uit in Ohm (Ω).

5) Bij een spanning van 1 V over een weerstand van 1 Ohm ontstaat een stroomsterkte van 1 A.

6) Het verband tussen spanning, stroomsterkte en weerstand is vastgelegd in de wet van Ohm.

$$\text{Stroomsterkte} = \frac{\text{spanning}}{\text{weerstand}} \quad (I = \frac{E}{R})$$

7) De soortelijke weerstand van een materiaal is de weerstand van een draad met een lengte van 1 m en met een doorsnede van 1 mm^2 bij een temperatuur van 15°C.

8) Het soortelijk geleidingsvermogen is het omgekeerde van de soortelijke weerstand.

9) De weerstand van een draad is gelijk aan:

$$\text{Weerstand} = \frac{\text{soortelijke weerstand x lengte (in m)}}{\text{doorsnede (in mm}^2)}$$

10) Het electrisch vermogen = spanning x stroomsterkte

$$W = E \times I = I^2R$$

Men drukt het vermogen uit in Watt (W).

11) De arbeid is het werk, dat door het vermogen in een bepaalde tijd wordt verricht. Men drukt dit uit in Watt-sec. De practische maat is:

1 kWh = 1000 x 3600 W/sec.

12) De weerstand van een materiaal is afhankelijk van de temperatuur. De temperatuurs-coëfficient geeft aan, hoeveel de weerstandstoe- of afname bedraagt per Ohm en per graad Celcius, gerekend ten opzichte van 15°C.

VRAGEN EN VRAAGSTUKKEN

1. Waardoor ontstaat een waterstroom en hoe een electrische stroom ?

2. Wat zijn isolatie-materialen en vermeld enkele van deze materialen die in de radio-techniek toepassing vinden.

3. Welk verschil bestaat er tussen de diameter en de doorsnede van een draad ? Hoe wordt de eerste en hoe de tweede bepaald ?

4. De stroomsterkte in een electrische soldeerbout is bij een spanning van 120 V gelijk aan 1,8 A. Hoe groot is de weerstand van het verwarmingselement ?

5. Hoe groot is de stroomsterkte in een weerstand van 65 kΩ, als deze op een spanning van 130 V is aangesloten ?

6. De bekrachtigingsspoel van een electro-dynamische luidspreker bevat 1000 m koperdraad met 0,2 mm diameter. Hoe groot is de weerstand in kΩ ?

7. Een weerstand bestaát uit 4,5 m nichroomdraad (S.W. = 1,05) van 0,1 inch dikte. (1 inch = 25,4 mm). Bereken de draaddoorsnede in mm^2 en de weerstand.
Bij welke spanning is de stroomsterkte in de draad gelijk aan 0,5 A ?

8. Op hoeveel spanning mag men een weerstand van 15m konstantaandraad van 0,45 mm dikte aansluiten, als de stroomsterkte 1,2 A mag zijn ?

9. Met welke stroomsterkte mag men een weerstand van 40 kΩ belasten, als het toelaatbare vermogen 1 W bedraagt ?

10. Door een weerstand van 1200 Ohm vloeit een stroom van 100 mA. Voor welk vermogen moet de weerstand geschikt zijn ?

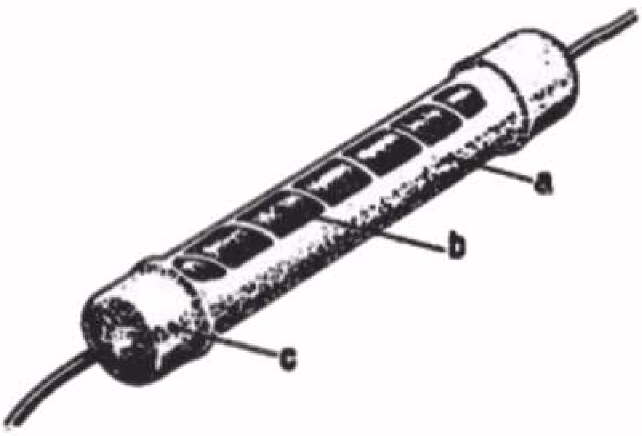
9. Constructies van weerstanden

Men onderscheidt de weerstanden in zgn. vaste- en regelbare weerstanden. De eerste groep, de zgn. vaste weerstanden, onderscheiden we naar hun constructie in de volgende 3 groepen:

a. koolweerstanden
b. draadweerstanden
c. weerstanden met speciaal karakter bijv. N.T.C. weerstanden.

a. Koolweerstanden

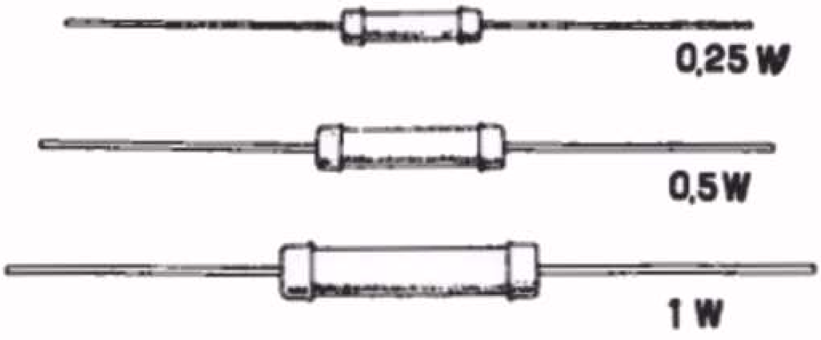
De koolweerstanden bestaan gewoonlijk uit een keramisch buisje waarop een chemisch mengsel met een bepaalde koolstof door dompeling of verdamping wordt aangebracht. Daarna wordt het geheel bij een bepaalde temperatuur gebakken en gesorteerd naar hun weerstandswaarde. Daarbij is het veelal nodig de weerstand aan te passen aan de bestaande standaardwaarden: dit geschiedt door met een sneldraaiende amarilschijf het hard geworden weerstandsmateriaal spiraalvormig in te kerven (zie fig. 1). De stroomweg wordt nu langer en de weerstand dus groter. Deze behandeling wordt uitgevoerd totdat de weerstandswaarde binnen de verlangde tolerantie van ± 1, 2, 5 of 10% valt. Daarna wordt het weerstandslichaam voorzien van aansluitdraden en van een beschermende laklaag. De standaarduitvoering van de Philips koolweerstanden is uitgerust met blank vertinde draden waarmee men de weerstanden in de bedrading kan solderen (bij het solderen steeds minstens een afstand van ca. 1 cm ten opzichte van de aansluitdop bewaren). Meestal voorziet men het geheel nogmaals met een gekleurde laklaag om de weerstand mechanisch te beschermen.



Constructie van een koolweerstand
a. beschermende laklaag
b. koollaag
c. aansluitdop

fig. 1

De koolweerstanden worden vervaardigd in uitvoeringen voor een vermogen van 1/4 W, 1/2 W, 1W en 3W, herkenbaar aan hun diameter en lengte. De normale toleranties zijn ± 5% en ± 10%. Alleen voor speciale doeleinden, zoals voor gebruik in meetapparaten, worden de koolweerstan-



Koolweerstanden van 1/4 W, 1/2 W en 1 W op ongeveer ware grootte.

fig. 2

den in kleinere toleranties geleverd. De temperatuurscoëfficient van de koolweerstanden is negatief. De weerstandsvermindering bedraagt globaal genomen ca. 1% per 0,1 W belasting; dat wil dus zeggen: als door een weerstand van 1000 Ohm een stroom gaat van 10 mA, bedraagt de belasting 0,1 W. De weerstandsvermindering is dan ca. 10%, dit is 10 Ohm. De hoogst toelaatbare omgevingstemperatuur van de normale koolweerstanden bedraagt 70°C.

In verband met een doelmatige fabricage maakt men de weerstanden in een vaste reeks van waarden. Voor de Philips serie is deze reeks als volgt:

10	15	22	33	47	68
11	16	24	36	51	75
12	18	27	39	56	82
13	20	30	43	62	91
					100

Het kenmerk van deze reeks is, dat de volgende waarde steèds ca. 10% hoger ligt dan haar voorgaande. Wij hebben deze reeks uitsluitend voor de eenheden gegeven;- het zal duidelijk zijn, dat deze reeks op dezelfde wijze kan worden toegepast voor 100-tallen, 1000-tallen enz.

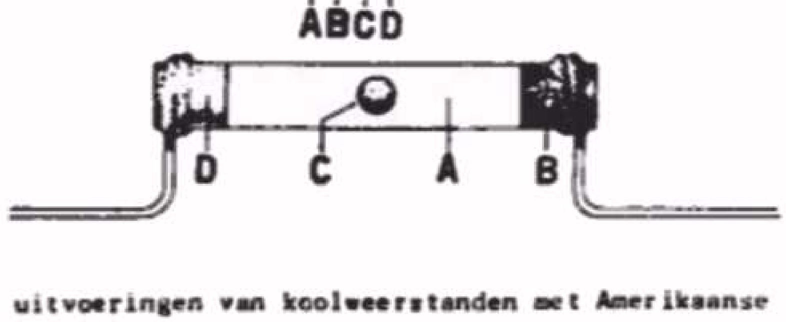
Voor de aanduiding van de weerstandswaarde wordt bij de Philips weerstanden achter het codenummer de waarde vermeld door middel van cijfers en de letters E, K, resp. M.

E is het aantal Ohms
K is het aantal kilo-Ohms
M is het aantal Megohms

Voorbeelden:

100 E = 100 Ω
12 K = 12 kΩ = 12000 Ω
3 K9 = 3,9 kΩ = 3900 Ω
2 M2 = 2,2 MΩ = 2.200.000 Ω

De Amerikaanse fabrieken gebruiken voor de aanduiding van de weerstanden een kleurencode, waarbij men nog 2 uitvoeringen (zie fig. 3) onderscheidt. Men voorziet de weerstand dan van verschillende gekleurde banden of met een gekleurde achtergrond en enige banden en een stip. De kleuren heb-



Twee uitvoeringen van koolweerstanden met Amerikaanse kleurcode.

fig. 3

ben daarbij de volgende betekenis:

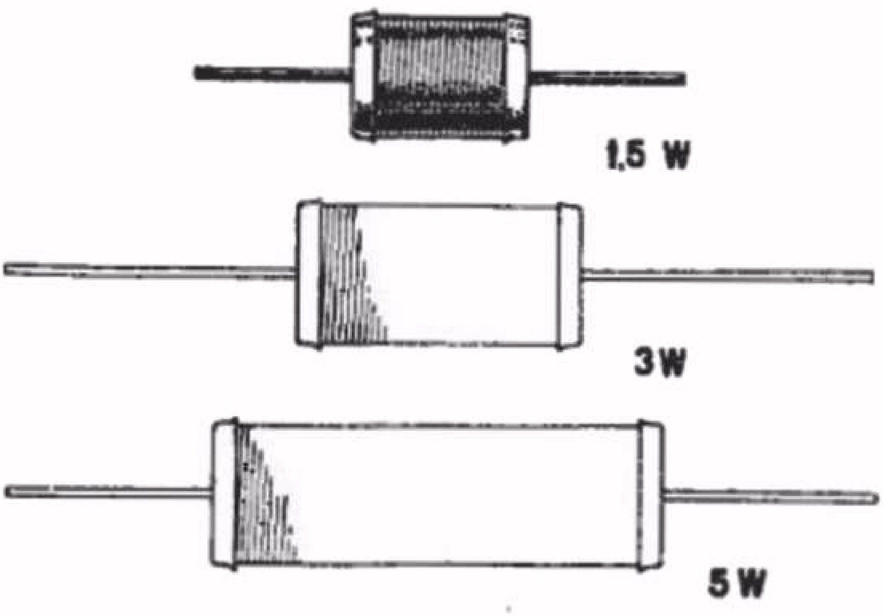
Kleur	Band A: 1e cijfer van weerstands-waarde	Band B: 2e cijfer van weerstands-waarde	Band C of stip: vermenigvul-digtal	Band D: Tolerantie
zwart	0	0	1	-
bruin	1	1	10	± 1%
rood	2	2	100	± 2%
oranje	3	3	1000	± 3%
geel	4	4	10.000	± 4%
groen	5	5	100.000	± 5%
blauw	6	6	1.000.000	± 6%
violet	7	7	10.000.000	± 7%
grijs	8	8	100.000.000	± 8%
wit	9	9	1.000.000.000	± 9%
goud	-	-	-	± 5%
zilver	-	-	-	±10%
geen kleur	-	-	-	±20%

<u>Voorbeelden:</u>

Weerstand	Band A	B	C	D
500 Ω -± 5%	groen	zwart	bruin	goud
1,8 MΩ -±10%	bruin	grijs	groen	zilver

<u>b. Draadweerstanden</u>

De draadweerstanden bestaan uit een lichaam van isolatiemateriaal bijv.glas, porcelein en keramiek, waarop speciaal weerstandsdraad (bijv. konstantaan, manganine of nickeline) met een geringe spatie (onderlinge afstand)wordt gewikkeld. Aan de uiteinden wordt de weerstand voorzien van aansluitdoppen met verbindingsdraadjes of klembandjes. Tenslotte brengt men weer een beschermende laklaag aan, die bij bepaalde uitvoeringen een emaillelaag is.

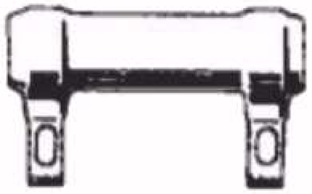


Draadgewonden weerstanden van 1,5 W, 3 W en 5 W op ongeveer ware grootte.

fig. 4

De normale draadweerstanden komen voor in waarden van een paar Ohm tot circa 20.000 Ohm. De normale toleranties zijn ± 5% en ± 10%. De maximale omgevingstemperatuur is 70°C. Deze weerstanden komen voor voor een vermogen van 1,5 W t/m 5 W, wederom kenbaar aan diameter en lengte.

De weerstanden met emaille laklaag, de zgn. geëmailleerde draadweerstanden hebben de bijzondere eigenschap, dat ze in staat zijn sterke overbelastingen gedurende korte tijd goed te kunnen verdragen. (De serie-weerstand in de gloeidraadketen bij ontvangers voor gelijk- en wisselstroom-voeding is bijvoorbeeld een emaille weerstand). Deze weerstanden worden gemaakt met weerstandswaarden tot ca. 250.000 Ω en voor vermogens van 6 W tot 400 W. Ook hiervan zijn de normale toleranties ± 5% en ± 10%.



Geemailleerde draadgewonden weerstand.

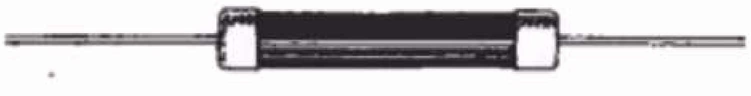
fig. 5

Voor de codering wordt hetzelfde systeem toegepast als voor de koolweerstanden.

Hogere waarden dan 20.000 Ohm verwezenlijkt men ook wel met behulp van zgn. weerstandskoord. Hierbij wordt de dunne blanke weerstandsdraad in een spiraal om een dunne katoenen kern gewikkeld, waarna het geheel nog eens wordt omsponnen met een laag katoen. Daarna wordt het weerstandskoord spiraalvormig op een glazen of keramische buis gewikkeld. Het is duidelijk, dat men op deze wijze een veel grotere draadlengte op een lichaam van dezelfde afmetingen kan aanbrengen en dus een veel grotere weerstandswaarde kan realiseren.

c. N.T.C. weerstanden

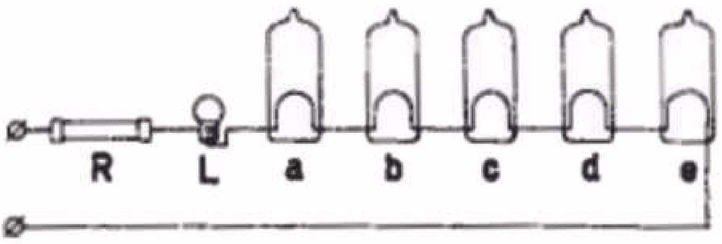
Bij de voorgaande weerstandsconstructies werd de weerstandsverandering tengevolge van een temperatuursverandering op de koop toe genomen, hoewel men er natuurlijk naar streeft de temperatuursafhankelijkheid zo gering mogelijk te houden. Bij de N.T.C. weerstand is als weerstandsmateriaal doelbewust een materiaal gekozen, dat zeer sterk afhankelijk is van de temperatuur. Bij een hogere temperatuur neemt de weerstand sterk af d.w.z. deze weerstand heeft een grote negatieve temperatuurscoëfficiënt (vandaar de naam N.T.C. weerstand; N.T.C. zijn de beginletters van Negatieve TemperatuursCoëfficient). Een veel gebruikt type in de Philips ontvangers voor gelijk- en wisselstroomvoeding heeft in 'koude' toestand, d.w.z. bij 20°C, een weerstand van ca. 3000 Ohm, in warme toestand, bij ca. 140°C, nog slechts 200 Ohm. In deze apparaten wordt de N.T.C. weerstand gebruikt ter begrenzing van de inschakelstoot in de gloeidraadketen. Gewoonlijk staan in dergelijke apparaten de gloeidraden van de ontvangbuizen in serie geschakeld met een schaalverlichtingslampje en eventueel



Voorbeeld van een N.T.C. weerstand.

fig. 6

een bepaalde weerstand. In koude toestand is de weerstand van de gloeidraden van de ontvangbuizen ca. 1/7 à 1/10 van de weerstand in warme toestand. De stroom in de keten is dus bij het inschakelen veel groter dan wanneer de buizen hun normale temperatuur hebben hereikt. Het schaalverlichtingslampje blijkt deze veel grotere stroom niet te kunnen verdragen zodat het doorbrandt. Door nu in serie met de gloeidraden een N.T.C. weerstand op te nemen, die in koude toestand een hoge weerstand bezit en in warme toestand een lage weerstand, die dus juist een tegengesteld karakter heeft met dat van de gloeidraden van de radiobuizen, wordt een te hoge inschakelstoot vermeden. Wij komen nog uitvoeriger op deze schakeling terug bij de behandeling van het voedingsgedeelte van het ontvangtoestel.



Serieschakeling van de gloeidraden van de ontvangbuizen met een schaalverlichtingslampje L en een N.T.C.weerstand R. De weerstand R dient ter begrenzing van de inschakelstroomstoot.

fig. 7

10. Serieschakeling van weerstanden

Als men een aantal weerstanden zodanig op een stroombron aansluit dat het einde van de eerste weerstand met het begin van de tweede weerstand is verbonden, het einde van de tweede weerstand met het begin van de derde weerstand enz.,noemt men dit een serieschakeling. De electrische stroom moet nu successievelijk de weerstanden R_1, R_2 en R_3 doorlopen d.w.z. hij moet de weerstand van elk van deze weerstanden overwinnen. Gezien vanuit de batterij kan men nu deze combinatie van weerstanden vervangen denken door één weerstand, de zgn. vervangingsweerstand, die met toepassing van de wet van Ohm weer gelijk zal zijn aan:

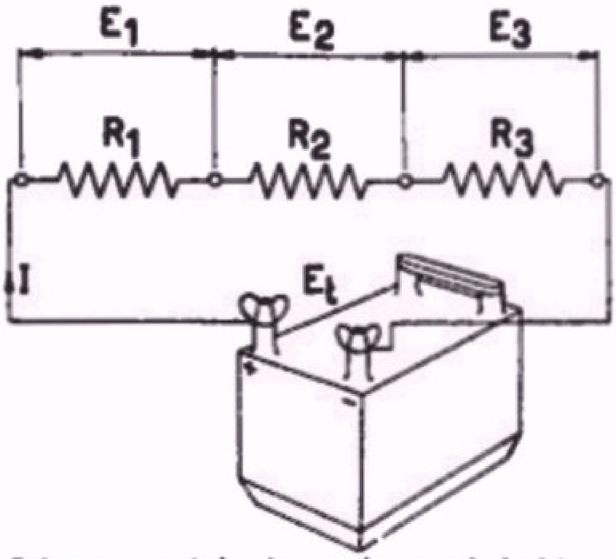
$$R_t = \frac{E_t}{I}$$

Aangezien wij reeds geconstateerd hebben, dat de te overwinnen weerstand voor de electronenstroom groter zal zijn naarmate men deze stroom door meer weerstanden achter elkander stuurt, zal het duidelijk zijn, dat men om de vervangingsweerstand te krijgen de afzonderlijke weerstanden bij elkander moet optellen, dus:

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 \text{ enz.}$$

Dit klopt trouwens ook met hetgeen in paragraaf 6 is verteld,waarin de weerstand van een draad des te groter werd, naarmate de lengte van de draad groter was. Wij zouden immers deze draad in

stukjes kunnen knippen en deze stukjes als het ware in serie geschakeld kunnen denken.



Schema van drie in serie geschakelde weerstanden. $R_t = R_1 + R_2 + R_3$ en $E_t = E_1 + E_2 + E_3$.

fig. 8

Over elk van deze weerstanden zal weer een spanning komen te staan die steeds gelijk is aan de stroom, die er doorheen vloeit x de betreffende weerstand. Uitgaande van bovenstaande formule krijgt men dan:

$I \times R_t = I \times R_1 + I \times R_2 + I \times R_3$

Hiervoor kan men ook schrijven:

$$E_t = E_1 + E_2 + E_3$$

d.w.z. *de som van de spanningen over de weerstanden is gelijk aan de spanning over de totale schakeling;* dit is de spanning van het element.

Hebben wij bijvoorbeeld een batterij van 100 V, waarop 3 weerstanden achter elkaar van 20 kΩ, 30 kΩ en 50 kΩ zijn aangesloten, dan zal de totale weerstand zijn 20 + 30 + 50 = 100 kΩ. De stroom door deze weerstanden zal dus zijn 100 : 100.000 = 0,001 A= 1 mA. Over elk van de weerstanden zal een spanning ontstaan die gelijk is aan de weerstandswaarde x de stroom,dus 20.000 x 0,001= 20 V, 30.000 x 0,001 = 30 V en 50.000 x 0,001 = 50 V. Vergelijkt men nu de grootte van deze spanningen met de grootte van de weerstanden, dan ziet men een bepaald verband nl. de spanningen over de weerstanden R_1 en R_2 verhouden zich als 2 :3 d.w.z. de spanning over R_2 is 1,5 x zo groot als die over de weerstand R_1.
De verhouding van de spanningen over deze weerstanden is dus gelijk aan de verhouding van de weerstanden zelf.

Men maakt in de radiotechniek hiervan gebruik om met een bepaalde spanning door toepassing van enige weerstanden een andere spanning te krijgen. In het bovengenoemde voorbeeld stond een spanning van 100 V ter beschikking. Dank zij de serieschakeling van de weerstanden ontstaan 3 andere spanningen nl. van 20 V, 30 V en 50 V. Men heeft dus eigenlijk de oorspronkelijke spanning verdeeld in enige andere spanningen. Men noemt een dergelijke schakeling dan ook een *spanningsdeler* of ook wel *potentiometer* (hoewel dit niets met een meter heeft te maken).

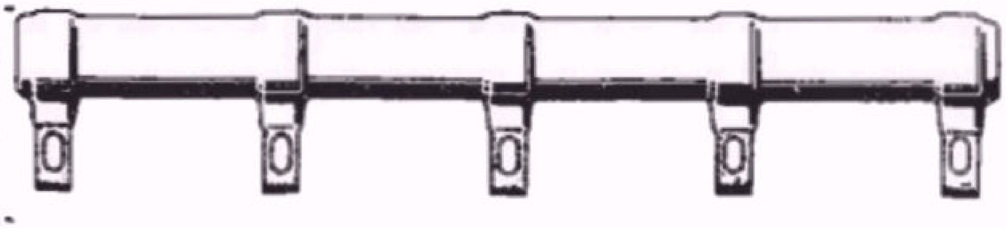
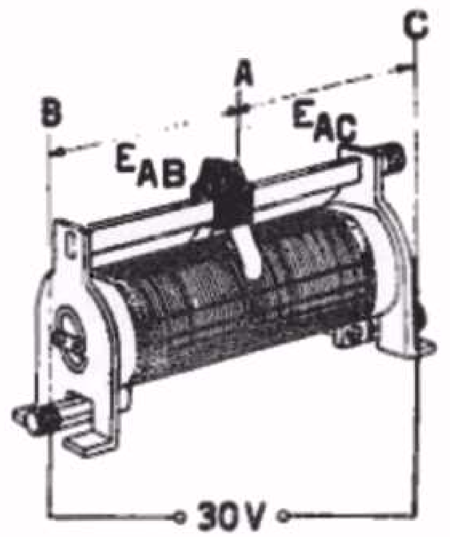

Geemailleerde draadgewonden weerstand met aftakkingen (spanningsdeler).

fig. 9

In bovengenoemd voorbeeld hadden wij een zogenaamde vaste potentiometer d.w.z. door het gebruik van vaste weerstanden ontstonden over deze weerstanden steeds dezelfde spanningen. Men zou deze weerstanden echter ook regelbaar kunnen maken. Het eenvoudigste

kan men dit uitvoeren door een om een koker gewikkelde weerstandsdraad te nemen, waarop men een glijcontact aanbrengt (zie fig. 10). Als het glijcontact in positie A staat, overeenkomende met een 2x zo grote weerstand tussen AB als tussen AC, dan zal de spanning over AC de helft zijn van de spanning over AB. Bij een totale spanning van bijvoorbeeld 30 V zal dus de spanning over AC gelijk aan 10 V zijn en over AB gelijk aan 20 V. Wordt nu het glijcontact in de richting van B verschoven zodanig, dat nu de draadlengte van AC een 2x zo grote weerstand als de draadlengte van AB heeft, dan zal de spanningsverhouding van AC en AB juist omgekeerd zijn. Dus nu komt over AC een spanning van 20 V te staan en over AB van 10 V. Het zal duidelijk zijn, dat men op deze wijze elke gewenste spanning tussen AC of AB kan krijgen, vanzelfsprekend tot aan de maximale spanning van de stroombron zelf.



Spanningsdeler, bestaande uit een weerstandsdraad met glijcontact. Met het glijcontact A regelt men de verhouding van de spanningen E_{AB} en E_{AC}, waarbij steeds geldt: $E_{AB} + E_{AC} = E_{BC}$

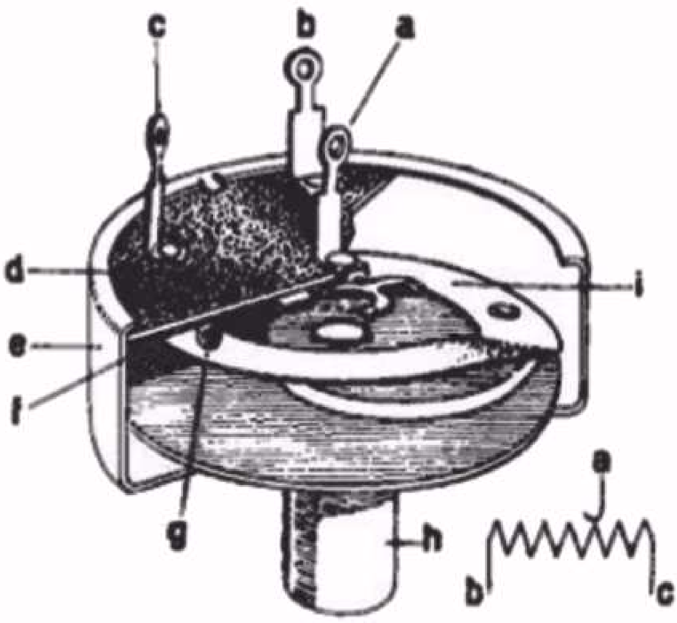
fig. 10

11. Constructies van potentiometers

In de praktijk gebruikt men gewoonlijk geen enkele draad, maar gebruikt men hiervoor een kool-oplossing of een draad op speciale wijze gewikkeld. Vandaar dat men de regelbare potentiometers onderscheidt in koolpotentiometers en draadpotentiometers.

A. Koolpotentiometers

Deze potentiometers worden vooral in de radio-ontvangers veel gebruikt. Ze bestaan uit een plaatje van isolerend materiaal waarop een mengsel van grafiet en kunsthars wordt aangebracht. Door verschillende koolmengsels te gebruiken en de laagdikte verschillend te kiezen, kan men de weerstand naar wens bepalen. Over deze weerstandslaag loopt een verend contact, dat naar buiten wordt uitgevoerd en waarvan men de gewenste spanning kan afnemen. Men onderscheidt de koolpotentiometers nog in zgn. liniaire en logarithmische potentiometers. Bij de liniaire potentiometer verandert de weerstand tussen het zgn. lopercontact en een van de vaste contacten evenredig met de draaihoek d.w.z. dat de weerstand tussen deze 2 contacten, en dus ook de spanning, 2x zo groot wordt als de draaihoek 2x zo groot is, 3x zo groot als de draaihoek 3x zo groot wordt enz.

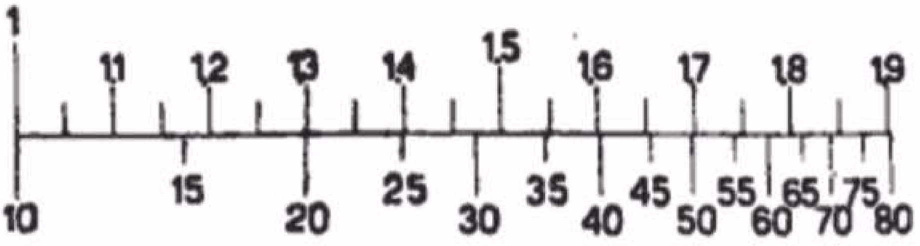


Constructie van een koolpotentiometer.

a. aansluitlip van het glijcontact
b. aansluitlip van het ene uiterste contact.
c. aansluitlip van het andere uiterste contact.
d. plaatje van isolerend materiaal
e. koollaag, die de weerstand vormt en aangesloten is tussen b en c.
g. contactnok van het glijcontact
h. holle as
i. verend draaibaar plaatje, waarop de contactnok g zit

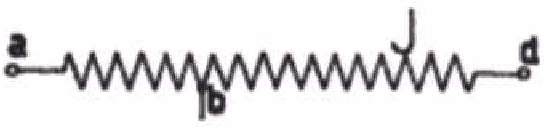
fig. 11

Bij de logarithmische potentiometer verloopt de weerstandsverandering logarithmisch met de draaihoek. Aangezien het hier te ver voert om over het begrip logarithme uit te wijden, geven wij hiernaast een vergelijking van een liniaire met een logarithmische schaal. Hieruit ziet men dat de waarde 1,4 op de liniaire schaal overeenkomt met de waarde 25 op de logarithmische schaal, de waarde 1,6 op de liniaire schaal overeenkomt met 40 op de logarithmische schaal enz. Uit deze tabel ziet U ook dat bij een logarithmische potentiometer de verandering van de weerstand in het begin veel geringer is dan aan het einde, met dezelfde grootte van de draaihoek. Men gebruikt deze potentiometers in de radiotoestellen meestal voor de sterkteregeling. Waarom dit geschiedt zal bij de behandeling van dit onderwerp nog ter sprake worden gebracht. Soms ziet men ook potentiometers, die meer dan 3 contacten hebben (2 vaste contacten en 1 lopercontact). Deze potentiometers hebben dan een vaste aftakking en verder de regelbare aftakking. Men krijgt dan het schema van fig. 13. Men komt ook wel potentiometers tegen, waarbij de as die het regelbare contact bedient, gekoppeld is met een schakelaar (meestal netschakelaar).



Liniaire (boven) en overeenkomstige logarithmische (onder) schaalverdeling.

fig. 12

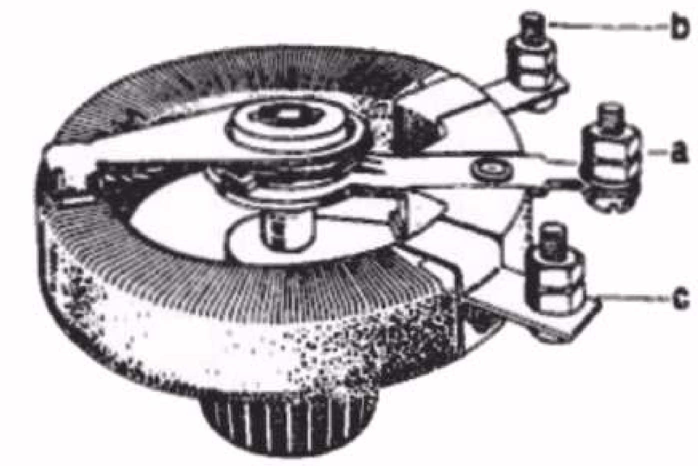


Principeschema van een potentiometer (ad) met een vaste aftakking (b) en een glijcontact.

fig. 13

B. Draadpotentiometers

De uitvoering van de draadpotentiometers kan zeer verschillend zijn, afhankelijk van de grootte van de weerstand en van het vermogen. Meestal bestaan ze uit een plaatvormige ring van isolerend materiaal, waarop de weerstandsdraad is gewikkeld. Bij potentiometers voor een gering vermogen is deze draad dun (dan loopt er slechts een kleine stroom door), voor grotere vermogens wordt een dikke draad gebruikt. Over de rand van het isolerend lichaam beweegt zich een loper, waarvan de spanning wordt afgenomen. De draadpotentiometers worden gebruikt in versterkers en andere apparatuur, waarbij meestal een stroom door de weerstandsdraad loopt, die te hoog zou zijn voor een koolpotentiometer.

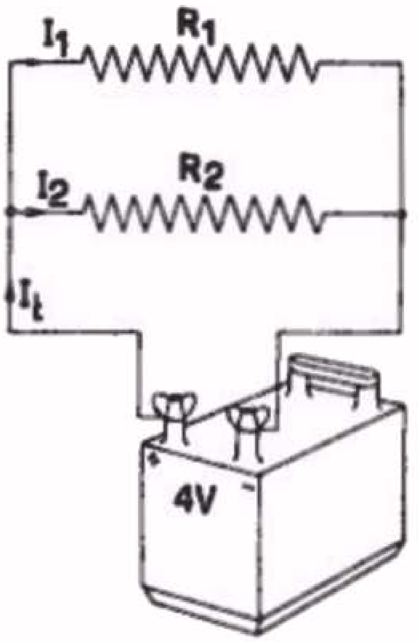


Constructie van een draadgewonden potentiometer:
a. aansluiting van het glijcontact
b. en c. vaste aansluitpunten
fig. 14

Een speciale uitvoering is de zgn. stappenpotentiometer, waarbij de regeling, de naam zegt het reeds, in stappen geschiedt. Een dergelijke potentiometer bestaat uit een aantal vaste weerstanden (van kool of draad) die met verschillende contacten zijn verbonden, waarover de loper zich beweegt. Een dergelijke potentiometer komt o.a. voor in de service-oscillator als verzwakker. Wij komen dan ook hierop terug bij de behandeling van de service-oscillator.

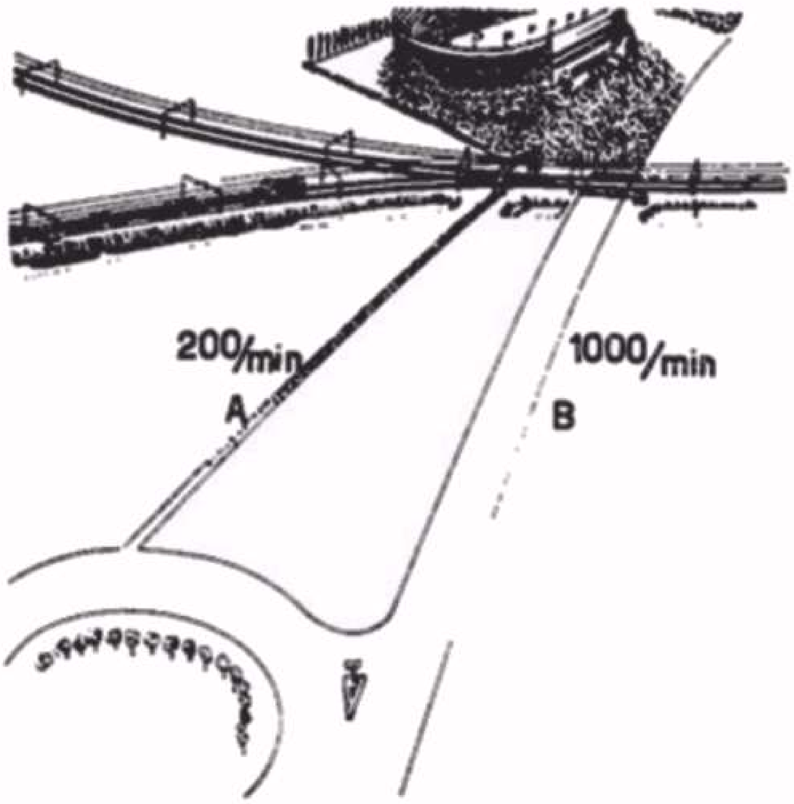
12. Parallelschakeling van weerstanden

Stel dat wij een batterij hebben van 4V waarop een weerstand R_1 is aangesloten. Zoals wij reeds in het voorgaande gezien hebben, ontstaat dan een electronenstroom ten gevolge van de batterij. De grootte van deze stroom is afhankelijk van de stuwkracht en van de weerstand die aan die stroom wordt geboden. Nu brengen wij een tweede weerstand over deze batterij aan. Voor de electronen wordt nu een tweede weg gevormd. Ze behoeven zich niet alleen over R_1 te begeven, doch kunnen nu ook via R_2 hun weg vinden. Bij eenzelfde stuwkracht zullen zich dus meer electronen kunnen verplaatsen. Men kan dit het beste vergelijken met de verplaatsing van een grote menigte na een voetbalwedstrijd. Indien de afvoer van deze menigte slechts door een straat zal moeten plaats hebben, zal er bijvoorbeeld per minuut 200 mensen kunnen



Schema van 2 parallelgeschakelde weerstanden. Hierbij geldt:
$I_t = I_1 + I_2$ en $R_t = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$
fig. 15

worden afgevoerd. Zijn er 50.000 toeschouwers naar de wedstrijd geweest, dan duurt het 50.000 : 200 = 250 minuten, voordat de mensen zijn verdwenen. Loopt er echter parallel aan deze straat een brede weg, waardoor 1000 mensen per minuut kunnen afvloeien, dan zullen er dus in totaal 1200 mensen per minuut van het voetbalveld verdwijnen (1000 mensen door de brede weg en 200 mensen via de smalle weg), zodat nu de menigte toeschouwers in een tijd van 50.000 : 1200 = ca.41 min. is afgevoerd. Door de aanwezigheid van de parallelweg is dus de stroom mensen groter geworden en zal deze stroom des te groter zijn, naarmate de weg breder is d.w.z. naarmate deze weg minder weerstand aan de mensenstroom biedt.



Een stroom verdeelt zich bij een vertakking zodanig over de wegen A en B, dat zich via de breedste weg de grootste stroom verplaatst.

fig. 16

Hetzelfde ziet men in onze schakeling met 2 weerstanden. Door het bijschakelen van de tweede weerstand zullen zich meer electronen kunnen verplaatsen d.w.z. vanaf de batterij zal er een grotere electrische stroom lopen. Men noemt een dergelijke schakeling een parallelschakeling van weerstanden.

Als wij terugkomen op ons voorbeeld met de voetbalwedstrijd, zal men verder zien,dat als zich 1000 mensen via de brede weg verplaatsen en 200 mensen via de smalle straat en als deze twee wegen weer bij elkander komen, bijv. op een groot plein, dan zullen daar weer 1000 + 200 = 1200 mensen te voorschijn komen (aangenomen dat er onderweg geen mensen blijven steken om een buurpraatje te maken). De conclusie is dat de stroom mensen, die vanuit het voetbalveld zich via de wegen verplaatsen,.aan het einde van deze wegen nog in dezelfde getale aanwezig zijn.

In het weerstandsvoorbeeld zal men dus zien, dat als de batterij een stroom levert van bijvoorbeeld 10 mA en door de ene weerstand 9 mA gaat en door de andere weerstand 1 mA, aan het einde van deze weerstanden weer 10 mA te voorschijn komt. In formule uitgedrukt geeft dit:

$$I_t = I_1 + I_2.$$

Evenals bij de serieschakeling kan men, vanuit de batterij gezien, de 2 parallelgeschakelde weerstanden vervangen denken door een vervangingsweerstand die weer gelijk zal zijn aan de spanning van de stroombron gedeeld door de totale stroom, dus:

$$R_t = \frac{E}{I_t}$$

De stromen, die door elk van de weerstanden vloeien, kunnen wij nu berekenen met behulp van de wet van Ohm. Ze zijn gelijk aan:

$$I_1 = \frac{E}{R_1} \quad \text{en} \quad I_2 = \frac{E}{R_2}.$$

Aangezien volgens het voorgaande de som van de stromen door de weerstanden gelijk is aan de totale stroom, kunnen wij ook schrijven:

$$\frac{E}{R_t} = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2};$$

delen wij alle termen door hetzelfde getal, nl. door E, dan blijft de uitkomst gelijk. De vorm krijgt nu echter een andere gedaante nl.

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

Deze formule zegt nu dat *de omgekeerde waarde van de vervangingsweerstand van parallelgeschakelde weerstanden gelijk is aan de som van de omgekeerde waarden van elk van de weerstanden.* Door deze formule is men dus in staat om de vervangingsweerstand van parallelgeschakelde weerstanden uit te rekenen.

Voorbeelden:

a. 2 weerstanden van resp. 40 Ohm en 120 Ohm zijn parallelgeschakeld. Hoe groot is de vervangingsweerstand ?
De vervangingsweerstand berekenen wij nu als volgt:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{40} + \frac{1}{120} = \frac{3}{120} + \frac{1}{120} = \frac{4}{120} = \frac{1}{30};$$

$$\text{dus } R_t = 30 \text{ Ohm}$$

b. Men heeft een weerstand van 800 Ohm. Men wil door het parallelschakelen van een tweede weerstand de totale weerstand brengen op 600 Ohm.
Hoe groot moet de parallel te schakelen weerstand zijn ?
Uit de reeds gebruikte formule voor de vervangingsweerstand kan men op de volgende wijze de onbekende waarde van de tweede weerstand berekenen.

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_t} - \frac{1}{R_1}$$

Vult men hier de getallen in, dan krijgt men:

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{600} - \frac{1}{800} = \frac{4}{2400} - \frac{3}{2400} = \frac{1}{2400}$$

De weerstand van R_2 moet dus 2400 Ohm bedragen.

Men kan de formule voor 2 parallelgeschakelde weerstanden door enige herleiding in een iets handiger vorm schrijven. Gaan we nog eens uit van de formule

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

en passen wij hierop nu dezelfde bewerking toe als we reeds in het bovenstaande getallenvoorbeeld hebben gedaan nl. de breuken herleiden totdat se deselfde noemer bezitten, dan verkrijgen wij

$$\frac{1}{R_t} = \frac{R_2}{R_1 x R_2} + \frac{R_1}{R_1 x R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 x R_2}$$

of

$$R_t = \frac{R_1 x R_2}{R_1 + R_2}$$

In woorden betekent dit, dat *de vervangingsweerstand van 2 parallelgeschakelde weerstanden gelijk is aan het product van die weerstanden gedeeld door hun som.* In het voorgaande voorbeeld a) waren de beide weerstanden 40 en 120 Ohm. We kunnen nu de vervangingsweerstand onmiddellijk berekenen uit:

$$R_t = \frac{40 x 120}{40 + 120} = \frac{4800}{160} = 30 \text{ Ohm.}$$

Uit het voorbeeld aan het begin van deze paragraaf bleek reeds dat de kleinste weerstand door de grootste stroom doorlopen werd en dat door de grootste weerstand de kleinste stroom vloeit. Dit is vrij logisch als men denkt aan de wet van Ohm. Beide weerstanden zijn immers op dezelfde spanning aangesloten sodat uit de wet van Ohm onmiddellijk volgt, dat bij deze zelfde spanning de kleinste weerstand door een veel grotere stroom wordt doorlopen dan de veel grotere weerstand. Is de ene weerstand bijvoorbeeld 2x zo groot als de andere weerstand, dan zal de stroom in de kleinste weerstand 2x zo groot zijn als de stroom in de grootste weerstand. De verhouding van de takstromen is dus juist het omgekeerde van de verhouding van de weerstanden. Heeft men bijvoorbeeld op een spanning van 4 V 2 weerstanden van 100 Ω en 300 Ω parallel aangesloten, dan zal door de weerstand van 100 Ω een stroom vloeien van $\frac{4}{100}$ A = 40 mA, door de weerstand van 300 Ω zal een stroom vloeien van $\frac{4}{300}$ A = 13,3 mA.

Men ziet nu dat door de 3x grotere weerstand juist een 3x kleinere stroom loopt ten opzichte van die door de weerstand van 100 Ω.

SAMENVATTING

1. Weerstanden staan in serie wanneer deze weerstanden achtereenvolgens door dezelfde stroom worden doorlopen;

2. De vervangingsweerstand van een aantal in serie geschakelde weerstanden is gelijk aan de som van de afzonderlijke weerstanden.

3. De spanningen over deze afzonderlijke weerstanden staan in dezelfde verhouding tot elkander als de overeenkomstige weerstanden.

4. Weerstanden staan parallel wanneer ze op dezelfde spanning zijn aangesloten.

5. De som van de takstromen (de stromen door elk van de weerstanden) is steeds gelijk aan de totale stroom.

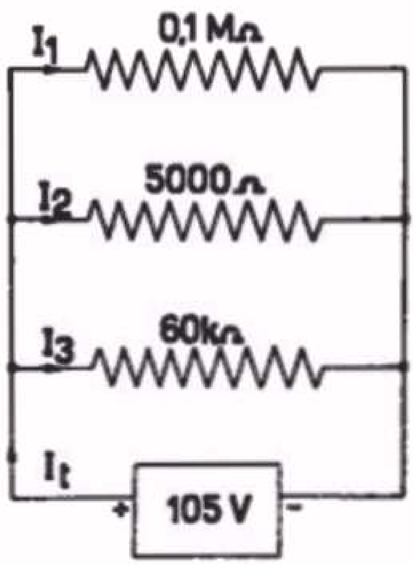
6. De omgekeerde waarde van de vervangingsweerstand van een aantal parallel geschakelde weerstanden is steeds gelijk aan de som van de omgekeerde waarden van de afzonderlijke weerstanden.

7. Indien slechts 2 weerstanden parallel zijn geschakeld, kan men ook zeggen,dat hun vervangingsweerstand gelijk is aan het product van de weerstanden gedeeld door hun som.

8. De takstromen bij parallelgeschakelde weerstanden staan in omgekeerde verhouding tot elkander als de overeenkomstige weerstanden.

VRAAGSTUKKEN

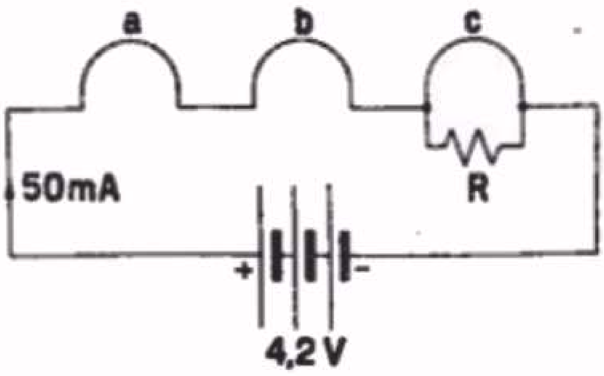
1. Drie weerstanden van 0,1 MΩ ,5000 Ω en 60 kΩ zijn parallel geschakeld en aangesloten op een spanning van 105 V, volgens nevenstaande figuur. Hoe groot is de vervangingsweerstand en hoe groot zijn de stromen I_t, I_1, I_2 resp. I_3 ?



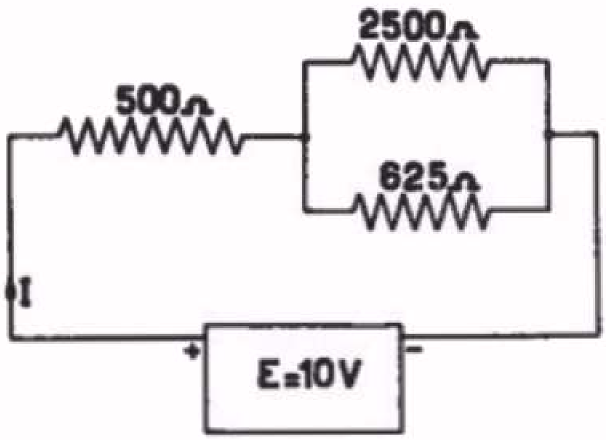
2. Een radiotoestel neemt bij een spanning van 110 V een vermogen van 55 W. Men wil dit toestel op een netspanning van 220 V aansluiten en men schakelt daarom in serie met het toestel een weerstand. Hoe groot moet deze weerstand zijn en voor welk vermogen moet de weerstand geschikt zijn ?

3. Op een gloeistroombatterij van 1,4V zijn de gloeidraden van de batterij-buizen DK91, DAF91 en DL92 parallel aangesloten. De gloeistroom van deze buizen bij een spanning van 1,4 V bedraagt resp. 50 mA, 50 mA en 100 mA. Hoeveel stroom wordt door de batterij geleverd, en hoe groot is dan de vervangingsweerstand van deze gloeidraden ?

4. De gloeidraden van 3 batterijbuizen zijn volgens nevenstaand schema op een batterij van 4,2 V aangesloten. De gloeidraden a en b nemen bij 1,4 V een stroom van 50 mA; gloeidraad c daarentegen een stroom van 25 mA, zodat parallel aan deze gloeidraad een weerstand R is geschakeld. Hoe groot moet deze weerstand zijn en voor welk vermogen ?



5. In nevenstaand schema zijn een aantal weerstanden in serie en parallel geschakeld. Hoe groot is de stroom I, die door de batterij van 10 V wordt geleverd ?



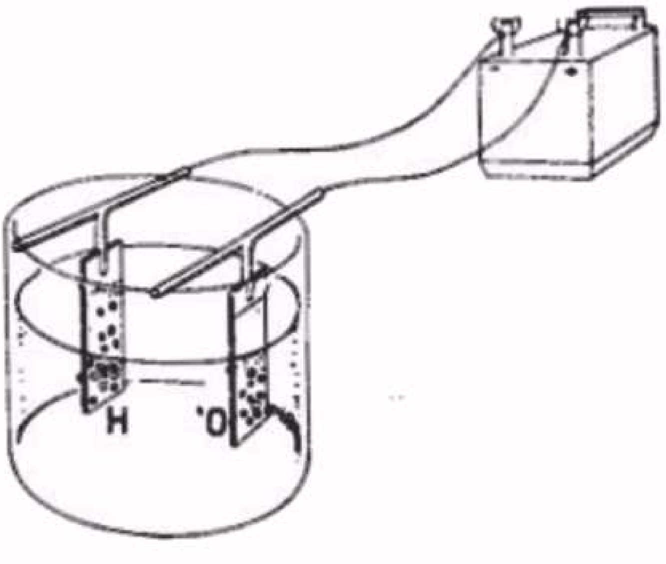
6. Een stroommeter moet in een leiding, waarin een stroom van 50mA vloeit, geschakeld worden. Door het spoeltje van de meter mag echter slechts 1 mA lopen (de weerstand van het spoeltje is 100Ω). Door parallel aan de meter een weerstand R aan te brengen, wordt er voor gezorgd, dat door de meter 1 mA vloeit. Hoeveel stroom moet er dan door de weerstand R lopen en hoe groot moet deze weerstand zijn ?

13. Elementen

In de voorgaande lessen zijn wij voor de stroomgeleiders uitsluitend van vaste stoffen uitgegaan. Ook vele vloeistoffen geleiden echter de stroom. Hierbij treedt een eigenaardig verschijnsel op dat verband houdt met de chemische samenstelling van de vloeistof. Door de electrische stroom wordt de stroomgeleidende vloeistof ontleedt d.w.z. ze splitst zich in 2 delen waaruit de vloeistof oorspronkelijk was opgebouwd: het ene deel bezit een positieve lading en begeeft zich naar de negatieve pool (kathode) (het wordt daarom kation genoemd); het andere deel heeft een negatieve lading en begeeft zich naar de positieve pool of anode (vandaar de naam anion).

Laten wij dit met een voorbeeld verduidelijken:

Water is een chemische verbinding die bestaat uit 2 delen waterstof en 1 deel zuurstof. Stuurt men nu een electrische stroom door water dat enigszins verontreinigd is door een zuur of een zout (volkomen zuiver water, zgn. gedestilleerd water, geleidt nl. de stroom niet en is dus een volkomen isolator), dan zal men zowel aan de negatieve als aan de positieve pool gasbellen zien opstijgen. Aan de negatieve pool ontsnapt de waterstof en aan de positieve pool de zuurstof. *Men noemt een dergelijke ontleding van een vloeistof door middel van een electrische stroom electrolyse.*



Electrolytische ontleding van water in waterstof (H) en zuurstof (O) tengevolge van een electrische stroom.

fig. 1

In rusttoestand bemerkt men van deze ladingen niets, omdat dan de positieve en negatieve ladingen met elkander in evenwicht zijn.

Nu neemt men voor de vloeistof een metaalverbinding - dit is een chemische verbinding met een metaal - bijv. zilvernitraat (bestaande uit 1 deel zilver, 1 deel stikstof en 3 delen zuurstof), waarin de stroom via een zilveren pluspool door de vloeistof wordt gestuurd en als andere pool bijv. een koperen staaf wordt gebruikt. Door de electrische stroom ontstaat electrolyse van het zilvernitraat zodat deze vloeistof wordt gesplitst in een zilverion (kation), dat zich op de koperen minpool afzet en de verbinding van het stikstof met de zuurstof (het anion) komt op de zilveren pool aan. Dit is de methode, die men gebruikt om bepaalde materialen te voorzien van een laagje zilver, nikkel, cadmium, enz. Men noemt dit verzilveren, vernikkelen, vercadmiumen (bijv. van chassis van ontvangers) enz.

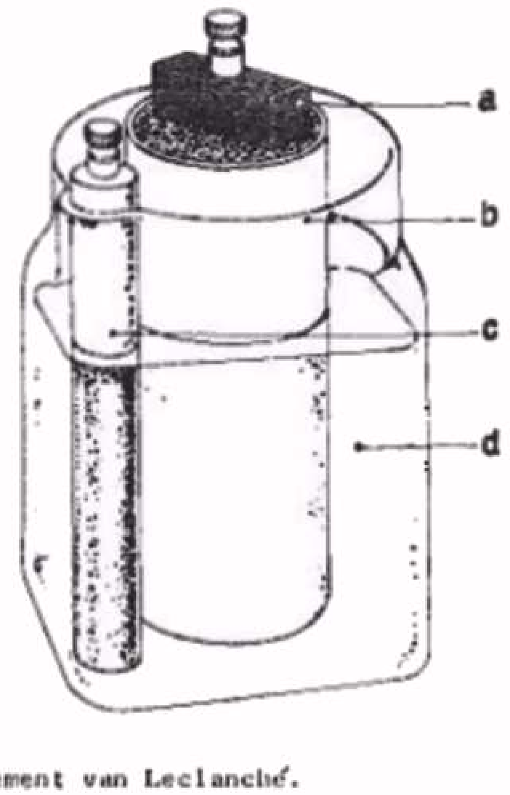
In het bovenstaande hadden wij dus een stroomgeleidende oplos-

sing met 2 polen, die uitwendig op een spanningsbron werden aangesloten. Gaan wij nu echter uit van een combinatie van een zuur met 2 metalen polen zonder uitwendige spanningsbron, bijv. een glas met zwavelzuur met een koperen en een zinken staaf, dan zal men bij aansluiting van een spanningsmeter aan deze polen een spanning van ca. 1 V meten. De koperen staaf is hierbij de positieve pool, de zinken staaf de negatieve pool. Men heeft nu dus een spanningsbron gemaakt.

Zodra tussen de positieve en de negatieve pool een geleider wordt aangesloten, zal onder invloed van de opgewekte spanning een electrische stroom gaan vloeien, die zich natuurlijk in de vloeistof voortzet. Door deze stroom ontstaat dan electrolyse van de vloeistof, dus een splitsing in positieve kationen en negatieve anionen, die zich respectievelijk naar de negatieve en de positieve pool begeven. Ze geven daar hun ladingen af en op deze wijze wordt er voor gezorgd, dat een E.M.K. in stand wordt gehouden.

Deze samenstelling werd het eerste uitgevoerd door de Italiaanse natuurkundige Volta. De spanningseenheid Volt werd naar zijn naam genoemd. Een dergelijke spanningsbron noemt men *een element*.

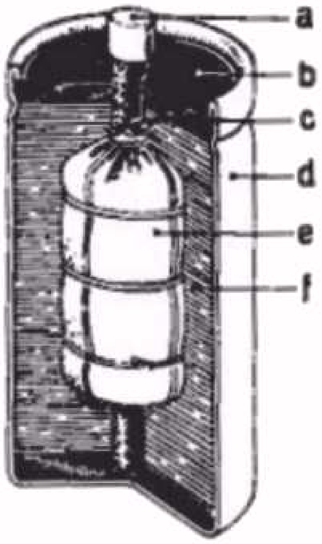
Het element in de beschreven vorm zou echter snel in spanning dalen door de invloed van het ontsnappende waterstofgas aan de positieve pool. Een technische verbetering is het element van Leclanché. Dit element bestaat uit een glazen pot met een oplossing van salmiak. Als polen worden gebruikt een koolstaaf en een zinkstaaf. De koolstaaf wordt positief en de zinkstaaf negatief. Aan de koolstaaf zouden zich wederom waterstofbellen vormen, indien men hiertegen geen speciaal middel had toegepast. Men heeft bij dit element nl. om de koolstaaf een poreuze pot aangebracht, welke door zijn poriën de salmiak-oplossing doorlaat en welke gevuld is met bruinsteen. Dit bruinsteen heft de nadelige werking van de ontsnappende waterstof op. De E.M.K. van dit element bedraagt bijna 1,5 V.



Element van Leclanché.
a. koolstaaf met aansluiting (positieve pool)
b. poreuze pot met bruinsteen
c. zinkstaaf met aansluiting (negatieve pool)
d. Salmiak oplossing
fig. 2

Een practische uitvoering van dit element is de zgn. *droge batterij*. Hierbij is de zinkstaaf uitgevoerd als een cylindervormig busje dat dienst doet als de ene electrode. De vloeistof laat men opzuigen door een mengsel van zaagsel en gelei-en in het midden daarvan plaatst men de koolstaaf omgeven door bruinsteen. Het geheel wordt afgesloten met compound. Deze cellen zijn in de handel als de bekende ronde staafbatterij-cellen van 1,5 V of in combinaties daarvan met een E.M.K. van 3 V, 4,5V enz.

Dergelijke cellen kunnen geen grote stroom leveren en slechts gedurende een bepaalde tijd.
De spanning van 1,5 V of een meervoud daarvan is strikt genomen de beginspanning. De spanning daalt bij gebruik van de batterij vrij spoedig tot ca. 1,4 V, neemt daarna langzaam af tot 1,1 V; fig. 5 toont in grafiekvorm van een bepaalde type batterij de spanning afhankelijk van de gebruikstijd.

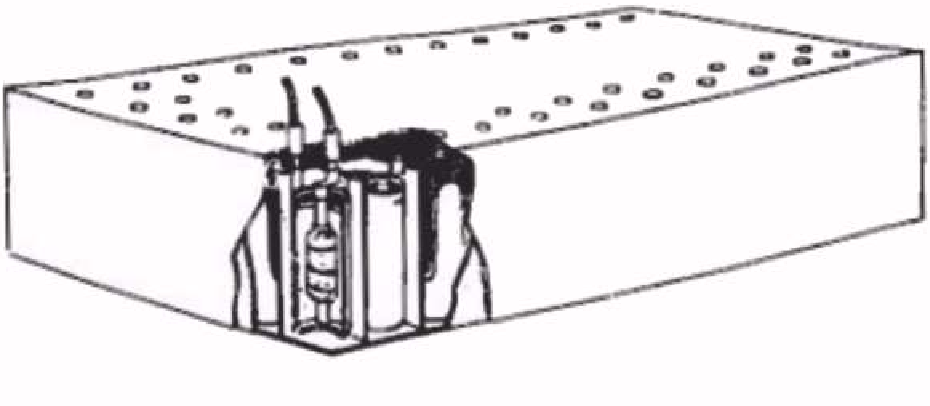


Doorsnede van een droog element (buidelelement)
a. aansluiting van de koolstaaf (positieve pool)
b. afdichting van chatterton
c. koolstaaf
d. zinken bus (negatieve pool)
e. zakje met bruinsteen
f. salmiak in gelei oplossing
fig. 3

Aangezien de werking van deze batterijen op de chemische ontleding van de vloeistof berust, moet bij het bewaren van de batterij grote aandacht worden besteed aan 2 punten, nl. *temperatuur en vochtigheidsgraad.*

De droge batterijen zijn zeer gevoelig voor warmte daar het chemische proces bij een hogere temperatuur veel sneller verloopt dan bij een lagere temperatuur.

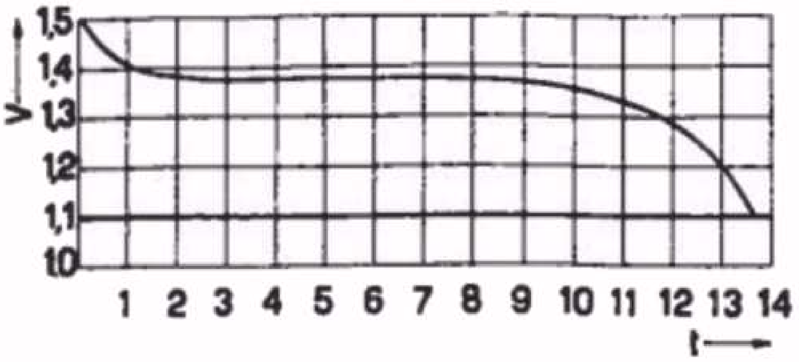
Het zou dus het beste zijn de batterij te bewaren in een koelkast of bij afwezigheid daarvan in een kelder. Heeft men ook geen kelder ter beschikking en is men gedwongen de batterij in de winkel te bewaren, dan legt men ze op de vloer, aangezien dit de koudste plaats in het vertrek is. *Maar al te vaak ziet men batterijen uitgestald in een etalage of bewaard op de bovenste planken in de winkel. Dit is funest voor de levensduur van de batterij.*



Anodebatterij, die is opgebouwd uit een aantal in serie geschakelde elementen, van de constructie van fig. 3
fig. 4

Etalages waarop de gehele dag de zon staat en waar binnen weinig luchtstroming heerst, zijn ware broeikassen waarin de levensduur van de batterij achteruitgaat; het is zelfs mogelijk, dat ze na enige maanden bewaren in het geheel geen stroom meer leveren. Boven in de winkel blijft de warme lucht die lichter is dan de koude en dus omhoog stijgt, hangen en vormt ook daar een gebied van een te hoge temperatuur.

Een constructie die vooral tijdens de laatste oorlog is gebruikt, in plaats van de normale batterij, is het zogenaamde lucht-zuurstof-element. Dit element was ontwikkeld om het dure bruinsteen te besparen. Bij deze elementen laat men de zuurstof uit de lucht de taak van het bruinsteen overnemen om het waterstofgas te binden. Dit werd bereikt door om de koolstaaf poreuze koolstukjes aan te brengen, waar tussen door de buitenlucht vrije toegang heeft tot de koolstaaf en daar de waterstof in verbinding brengt met de zuurstof uit de lucht. Dit element heeft een maximum spanning van 1,4 V en een gemiddelde spanning van 1,2 V.



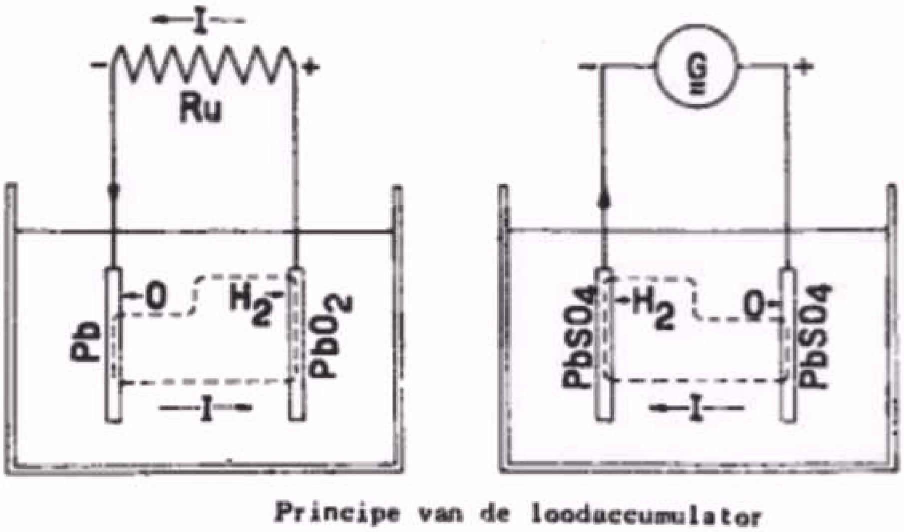
Ontlaad-kromme van een droog element
fig. 5

14. Loodaccumulator

a. Werking

De loodaccumulator, of kortweg de accu, berust op een geheel ander principe dan de voorgaande zgn. droge elementen. Bij de elementen had men nl. onmiddellijk na het samenvoegen van de 2 polen en de vloeistof een spanning. Bij de accu daarentegen moet men eerst energie toevoeren en pas daarna is ze in staat om spanning te leveren. Het woord accumulator duidt hier ook op; accumuleren betekent opzamelen. Men zamelt dus eerst een bepaalde energie op, die men daarna voor de stroomlevering ter beschikking heeft.

De loodaccumulator bestaat uit een bak met verdund zwavelzuur d.w.z. een mengsel van zwavelzuur en gedestilleerd water, waarin men platen van lood in poreuze vorm heeft. In geladen toestand d.w.z. wanneer de accu stroom kan leveren, bestaat de positieve pool uit loodsuperoxyde of loodperoxyde (een lood-zuurstof verbinding) en de negatieve plaat uit lood. In ontladen toestand, dus voordat men de energie gaat toevoeren, bestaan beide platen hoofdzakelijk uit loodsulfaat (een verbinding van lood, zuurstof en zwavel; het zwavel bevond zich in het zwavelzuur).



Principe van de loodaccumulator
Links : Tijdens het gebruik, dus ontlading
Rechts: Tijdens het opladen

fig. 6

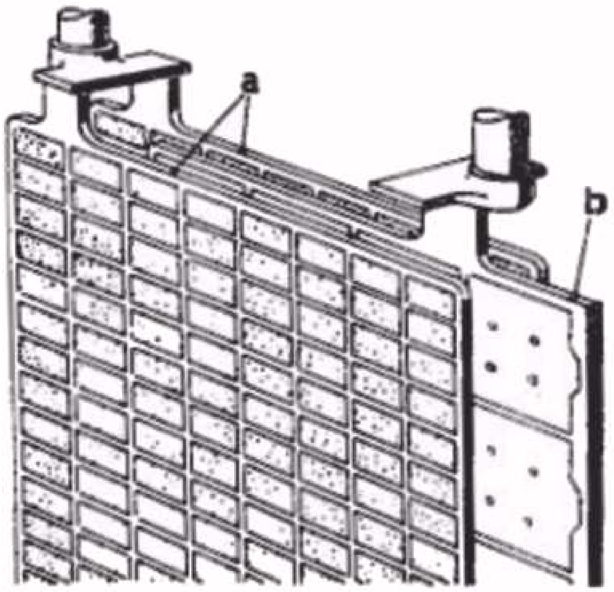
Gaan we er van uit dat de accu ongeladen is en reeds geformeerd is geweest d.w.z. waarbij de chemische omzetting tot loodsulfaat reeds heeft plaats gehad, en sluit men nu de accu aan op een stroombron, die door de accu een electrische stroom zendt, dan krijgt men een ontleding van het verdund zwavelzuur. De negatieve plaat wordt teruggebracht of gereduceerd tot lood en de positieve plaat tot loodperoxyde. In deze toestand heeft de loodplaat een lichtgrijze kleur en de loodperoxyde plaat een donkerbruine kleur. Nadat men door het toevoeren van stroom de accu heeft geladen, kan de accu zelf als stroombron gaan functionneren. Als men dus een bepaalde weerstand aan de klemmen van de accu aansluit, vloeit er weer een stroom door de accu, echter in tegengestelde richting met die tijdens het opladen. Ook nu ontstaat weer een electrolytische ontleding van het verdund zwavelzuur, waardoor de beide platen na een bepaalde tijd weer omgezet worden in loodsulfaat.

De E.M.K. van een geladen accu bedraagt gemiddeld per cel 2,1V; aan het begin na een grondige lading 2,75 V; bij ontlading daalt de spanning tot 1,75 V. Verder mag men niet gaan, aangezien men anders de samenstelling van de platen zou bederven.

b. Constructie

De platen bestaan uit een raamwerk waarin lood is geperst; na de eerste keer opladen - men noemt dit het formeren - veranderen de positieve platen in loodperoxyde. De platen reiken niet tot aan de bodem van de glazen bak, waardoor men voorkomt, dat eventueel bezinksel een lekweg vormt tussen de positieve en de negatieve platen.

Als men een accu van binnen bekijkt zal het opvallen, dat het aantal platen altijd een oneven aantal is. Het is nl. gebleken, dat altijd een positieve plaat moet staan tussen 2 negatieve platen. (zie fig. 7.) Men kan dit het beste vergelijken met het opplakken van een prent op carton. Indien men deze prent zonder meer op de ene zijde van het carton zou plakken, zou het carton kromtrekken. Plakt men daarentegen tegelijkertijd een ander stuk papier op de achterzijde van het carton, dan voorkomt men het kromtrekken van het carton. Iets dergelijks gebeurt ook bij de accu. Bij de lading wordt nl. iets aan de positieve platen toegevoegd, hetgeen wijst op een vermeerdering van het volume. Voerde men de accu met 2 platen uit, dan zou die volumevermeerdering hoofdzakelijk



Constructie schets van de platen van de accu
a. de negatieve platen
b. de positieve plaat
fig. 7

aan één zijde van de positieve plaat optreden, waardoor deze, evenals het carton in het bovengenoemde voorbeeld, zou kromtrekken.
Het zal duidelijk zijn, dat men meer energie in de accu kan brengen naarmate de oppervlakte van de platen groter is. Men bereikt dit door verscheidene platen in de accu onder te brengen en deze met elkander te verbinden. Men drukt dit vermogen om stroom te leveren, uit in Ampere-uren (afgekort Ah). Op de accu staat daarom meestal het aantal ampere-uren vermeld, en tevens voor welke ontlaadstroom dit geldt; bijv. 30 ampere-uren gedurende 20 uren betekent dat de accu gedurende 20 uren een stroom van 1,5 A kan leveren.
Bij accu's welke blootgesteld zijn aan stoten of schokken zoals in auto's, tanks enz. is het vat dikwijls gemaakt van hard gummie of celluloid. Bovendien bevinden zich tussen de platen afstandsstukken ('spacers'), ter versteviging van de inwendige constructie. Voor accu's in kleine draagbare apparaten speelt de ruimte die de accu inneemt een grote rol. Men verkrijgt een besparing in ruimte door de afstand tussen de platen te verkleinen; om dan te voorkomen, dat de platen elkander raken, zodra ze bijvoorbeeld enigszins kromtrekken, brengt men in vele gevallen tussen de platen glaswol aan. Dit is een materiaal, dat electrisch isolerend is en niet door zwavelzuur wordt aangetast.

Daar bij de accu altijd gassen worden gevormd, mag de ruimte met zwavelzuur nooit geheel worden afgesloten. Aan de bovenkant van de accu heeft men dus altijd dopjes met ventilatiegaatjes die men in geen geval mag dicht stoppen.

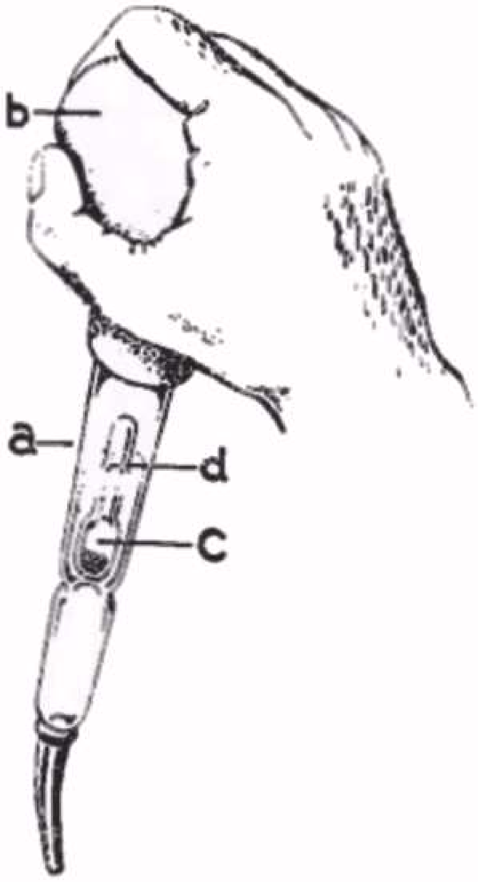
c. Onderhoud

Het onderhoud van de accu bestaat hoofdzakelijk uit het opladen en het zuur op gehalte houden. De ontlading mag niet verder gaan dan 1,75 V per cel, aangezien anders de chemische omzetting in loodsulfaat van de platen te ver zou gaan en het loodsulfaat gelegenheid krijgt te kristalliseren (zichtbaar aan de witte vlekken op de platen). In deze vorm laat het zich chemisch niet meer beinvloeden, waardoor het nuttig effect van de accu nadelig beinvloed wordt.

Hoewel men de ontlaadtoestand van de accu zou kunnen controleren met een spanningsmeting, is het beter om dit te doen door middel van een zuurmeting. Tijdens het ontladen heeft zich nl. een gedeelte van het zwavelzuur omgezet in het sulfaat van de platen, waardoor de verhouding tussen zwavelzuur en water d.w.z. de zuurdichtheid minder is geworden. Voor deze controle gebruikt men zgn. *zuurwegers*. De meeste zuurwegers bestaan uit een glazen hevel (a, fig. 8) voorzien van een gummie bal (b). In de hevel bevindt zich een drijvertje (c) met een schaalverdeling (d). Krijgt men nu door middel van de gummiebal zuur in deze hevel, dan kan men aan de positie van het drijvertje zien of de zuurdichtheid aan de eisen voldoet. Deze zuurdichtheid is meestal op de accu vermeld. Men.

drukt deze uit in graden Beaumé.*) Een geladen accu moet een zuurdichtheid bezitten van 28° Beaumé.De vereiste zuurdichtheid is nog enigszins afhankelijk van de platen afstand.

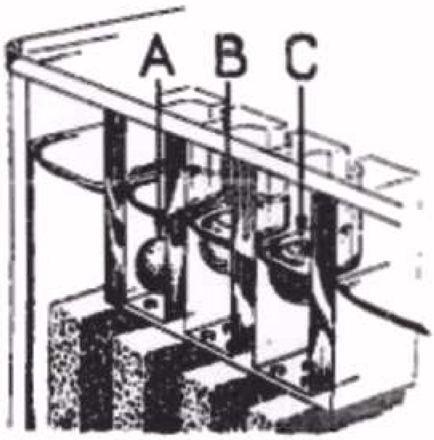
Ook heeft men wel accu's waarbij in een kleine afgesloten ruimte aan de bovenkant van de accu drijvertjes zijn aangebracht, (fig. 9). Als alle drijvertjes drijven, is de accu volledig geladen. Als A zinkt, begint de accu merkbaar te ontladen. Wanneer B ook zinkt, is de accu voor meer dan 2/3 ontladen. In geheel ontladen toestand zijn alle drijvertjes gezonken. In dat geval is dus een zuurweger overbodig.



Zuurweger ter controle van de zuurdichtheid van de accu.

fig. 8

Het opladen van de accu geschiedt door middel van een gelijkspanning. Daar de meeste stadsnetten wisselspanning leveren, moet men deze wisselspanning eerst omzetten in gelijkspanning, hetgeen men doet door middel van een gelijkrichter (op de werking van de gelijkrichter komen wij nog later terug). Het hangt dan van het aantal cellen af, dus eigenlijk van de totale spanning, op welke klemmen van de gelijkrichter men de accu aansluit. De gebruiksaanwijzing, die bij de gelijkrichter geleverd wordt, geeft hierover voldoende inlichtingen.



Accu met ingebouwde zuurdichtheidscontrole.

fig. 9

Aan het einde van het laden ziet men de accu 'koken'. Dit is een teken, dat men het einde van de lading nadert, waarbij dan de waterstof die door de electrolyse van het verdunde zwavelzuur vrij komt, niet meer door het chemisch proces wordt gebonden en als gasbellen vrijkomt.

*) De zuurdichtheidsmeting is feitelijk een meting van het soortelijk gewicht (d.i. het gewicht van 1 cm^3 van het materiaal). Bij sommige accu's vindt men dan ook wel het vereiste soortelijk gewicht vermeld in plaats van de zuurdichtheid in graden Beaumé.

Men zij steeds voorzichtig om met vuur bij deze gasvorming te komen, aangezien het ontstane gasmengsel van waterstof en zuurstof (van de lucht) sterk explosief is.

De klemmen van de accu vormen altijd een teer punt, daar ze voortdurend bloot staan aan de oxyderende werking van het zuur. Men moet deze klemmen daarom steeds insmeren met zuurvrije vaseline. Verder verdient het aanbeveling om de bovenzijde van de accu zo nu en dan af te wrijven met een doek met sodawater, waarbij men er echter voor moet waken, dat dit sodawater in geen geval in het accuzuur kan komen.

Tijdens het laden onderzoeke men nooit de ladingstoestand van een accu met behulp van een lucifer.

fig. 10

Zoals reeds in het begin gezegd, *kan men de geladen toestand van de accu herkennen aan de kleur van de platen nl. de negatieve platen licht grijs en de positieve platen donker bruin. In ontladen toestand gaan deze kleuren over in donkergrijs en lichtbruin.*

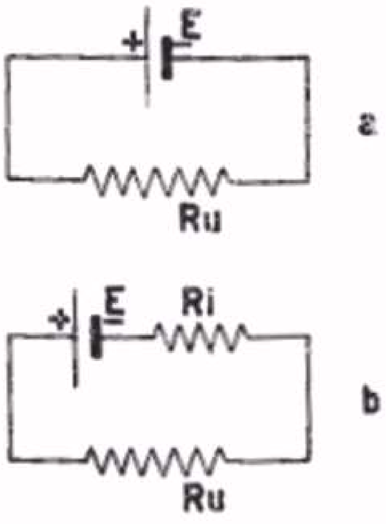
Wanneer men een accu voor lange tijd wil opbergen, laadt men de accu op totdat het zuurgehalte niet meer stijgt. Daarna giet men het zuur er volledig uit en vult de accu met gedestilleerd water. Nu sluit men de accu opnieuw op de laadgelijkrichter aan en zet men de lading nog eens geruime tijd met een kleine laadstroom voort. Hierna giet men het water er weer uit en vult het opnieuw met gedestilleerd water. Wanneer men nu de accu opnieuw wil gebruiken, behoeft men het gedestilleerd water slechts te verwijderen en te vervangen door verdund zwavelzuur met het vereiste zuurgehalte, waarna de accu voor onmiddellijk gebruik gereed is.

De vloeistof moet altijd ca. 1 cm boven de platen staan. Is deze afstand minder, dan giet men zo lang gedestilleerd water bij, dat de stand hoog genoeg is. Men gebruike hiervoor in geen geval leidingwater, daar dit water niet chemisch zuiver is. Het bijgieten van zwavelzuur is zelden nodig daar het zwavelzuur niet verdampt.

Als men verdund zwavelzuur nodig heeft, kan men dit eventueel zelf maken, indien men daarbij zeer voorzichtig te werk gaat. Het verdunde zwavelzuur is nl. een mengsel van geconcentreerd zwavelzuur en gedestilleerd water met een verhouding van 1:5. Als men deze twee vloeistoffen zonder voorzorgsmaatregelen bij elkander giet, gaat hun chemische verbinding met zo'n hevige warmte ontwikkeling gepaard, dat er gevaar bestaat voor het uit elkander springen van de glazen bak. *Men giete nooit water bij geconcentreerd zwavelzuur, maar altijd het zwavelzuur bij het water.* Men kan dit het beste doen door een glazen bak met gedestilleerd water te nemen en daarbij het zwavelzuur druppelsgewijs toevoegen; men zal merken, dat ook dan de vloeistof nog warm wordt, dikwijls zó warm dat men het proces van het bijgieten van zwavelzuur enige tijd

moet onderbreken totdat de temperatuur weer normaal is geworden. Het vereiste zuurgehalte bepaalt men weer met de zuurweger.

Schematisch wordt het element door het teken weergegeven, zodat het schema van een element als E.M.K., met een weerstand daarop aangesloten, als in fig. 11 wordt. Nu is zo'n schema op de keper bekeken niet helemaal volledig. Zodra namelijk een stroom in de keten begint te lopen, zal deze stroom in het element ook weerstand ondervinden. Bij een accu is deze weerstand, de zgn. inwendige weerstand, heel klein; van een droge batterij, vooral wanneer deze enige tijd in gebruik is geweest, is deze inwendige weerstand niet te verwaarlozen. Feitelijk moet fig. 11a daarom in fig. 11b worden veranderd. Hierin stelt dan E het element met een inwendige weerstand Ri voor; op de klemmen A en B van het element is een (uitwendige) weerstand Ru aangesloten. Voor de weerstand Ru is er nu in de toestand iets gewijzigd. De stroom I verwekt in de inwendige weerstand Ri een spanningsverlies dat, volgens de wet van Ohm, gelijk is aan $E_{Ri} = I \times Ri$. Aan de klemmen A en B komt daardoor niet de E.M.K. E ter beschikking, maar een spanning, gelijk aan $E_{AB} = E - I \times Ri$. Men noemt de spanning E_{AB} *de klemspanning*. De naam spreekt reeds voor zichzelf !



Schematische voorstelling van een element met uitwendige weerstand Ru
a. zonder inwendige weerstand
b. met inwendige weerstand Ri

fig. 11

Het zal reeds direct duidelijk zijn dat men er naar zal streven de inwendige weerstand, en dus het zgn. inwendig spanningsverlies, zo klein mogelijk te houden. Een gunstige eigenschap van de loodaccu is juist het te verwaarlozen inwendige spanningsverlies, zodat hierbij de E.M.K. practisch gelijk is aan de klemspanning.

Bij een batterij met een inwendige weerstand, onderscheidt men nog 2 uiterste gevallen:

1. De uitwendig aangesloten weerstand is 0 Ω ; in de practijk komt het er op neer, dat deze weerstand zó klein is (bijv. in de vorm van een dikke koperdraad) t.o.v. de inwendige weerstand, dat de stroom in de keten alleen wordt bepaald door de inwendige weerstand van de batterij. Deze stroom wordt dan $I_k = \frac{EMK}{Ri}$.

   Men noemt dit de *kortsluitstroom* en men spreekt dan van *kortsluiting*. Het spreekt wel haast vanzelf dat men kortsluiting steeds vermijden moet.

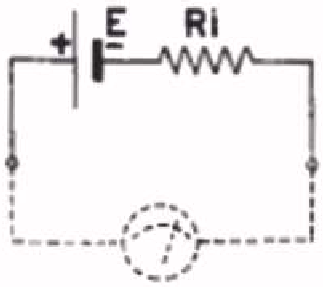
2. De uitwendige weerstand is zeer groot t.o.v. de inwendige weerstand van de batterij. Het grensgeval hiervan ligt bij ontbreken van een uitwendige weerstand; dan zou de uitwendige weer-

stand oneindig groot moeten zijn. In werkelijkheid wordt dan de uitwendige weerstand bepaald door de weerstand van de isolatie tussen de twee aansluitklemmen, die practisch altijd zeer veel groter zal zijn t.o.v. de inwendige weerstand. Bekijkt men voor dit geval fig. 11, dan ziet men dat de stroom wordt:

$$I = \frac{E.M.K.}{Ri + Ru} \approx \frac{E.M.K.}{Ru} \quad (\approx \text{ betekent ongeveer gelijk})$$

In dit geval wordt dus de klemspanning gelijk aan de E.M.K.. Omdat de stroom nu practisch nul zal zijn, de batterij dus niet wordt belast, spreekt men van *nullast*. Over de nullast-toestand valt nog het volgende practische feit te vermelden:

Men wil de spanning van een batterij meten met een spanningsmeter (ook wel voltmeter genoemd), terwijl geen weerstand is aangesloten (dus nullast-toestand). Men is nu geneigd te verwachten dat de spanning, die men meet, gelijk is aan de E.M.K. Hierbij komt men wel eens bedrogen uit, omdat nu de voltmeter, die ook een bepaalde weerstand heeft, (gelukkig meestal een zeer hoge weerstand) als belastingsweerstand gaat werken. De uitslag van de voltmeter behoeft dus niet met de werkelijke E.M.K. overeen te komen. Bezit de voltmeter een hoge weerstand (wij komen hierop terug bij de behandeling van de voltmeter), dan zal de meting voor de practijk een voldoende nauwkeurig beeld van de E.M.K. van de batterij geven.



Met een voltmeter meet men nimmer de E.M.K. van een element nauwkeurig. De voltmeter speelt nu de rol van belasting.

fig. 12

15. Schakelingen van elementen

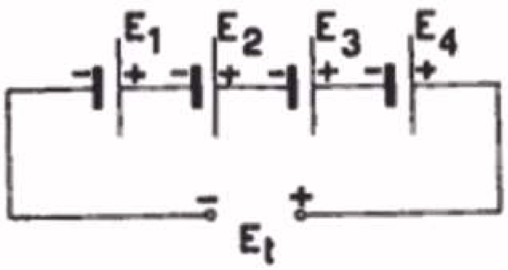
Men kan elementen, op dezelfde manier als met weerstanden is behandeld, in serie- of parallel-schakelen. Op deze wijze ontstaat een batterij, d.i. een combinatie van elementen.

a. Serieschakeling

Bij de serieschakeling verbindt men telkens de + pool van het ene element met de - pool van het volgende element, de + pool daarvan weer met de - pool van het daarop volgende element, enz. De E.M.K.'s van deze elementen werken nu in dezelfde richting, met het gevolg, dat de totale E.M.K. gelijk wordt aan de som van de E.M.K.'s van de afzonderlijke elementen. In fig. 13 is dus

$$E_t = E_1 + E_2 + E_3$$

Hierop berust bijv. de samenstelling van de anode-batterij. Deze bestaat uit een aantal elementen, afhankelijk van de totale spanning - een 90 V batterij is bijv. opgebouwd uit 60 x 1,5 V elementen - die in serie zijn geschakeld. De uiterste min- en

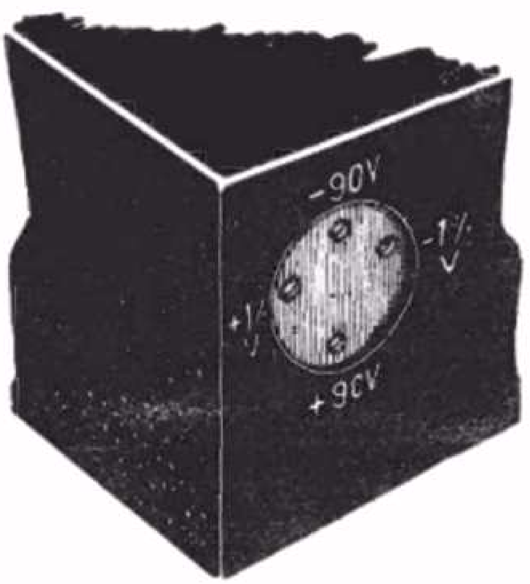


Bij serieschakeling van elementen is de totale E.M.K. gelijk aan de som van de E.M.K.'s van de elementen.

fig. 13

pluspolen worden als contactstoppen naar buiten gevoerd. Dikwijls bevinden zich op een anode-batterij meer contactstoppen, die op lagere spanningen zijn aangesloten, bij een 90V batterij bijv.aansluitingen voor 84V, 78 V,67,5 V enz. Tegenwoordig worden vele anodebatterijen uitgevoerd met een 4-polige aansluiting, waarbij 2 aansluitingen voor de hoge spanning - 90 V of 67,5 V - zijn bestemd en 2 aansluitingen voor 1,5 V (voor de gloeispanning van de batterijbuizen).

Bij serieschakeling van elementen komen ook de inwendige weerstanden van de elementen in serie te staan, zodat de totale inwendige weerstand van de batterij gelijk is aan de som van de afzonderlijke inwendige weerstanden.



Gemengde anode — gloeispanningsbatterij met 4-polige aansluiting: 90 V voor de hoge spanning en 1,4 V voor de lage spanning (gloeispanning).

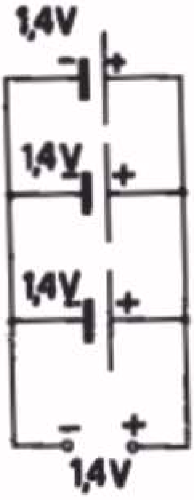
fig. 14

b. Parallelschakeling (fig. 15).

Elementen worden parallel geschakeld als alle pluspolen met elkander worden verbonden tot één pluspool en alle minpolen worden verenigd tot één minpool. Aangezien men eigenlijk niets anders doet dan de oppervlakte van de positieve en van de negatieve polen te vergroten, komt het met parallelschakeling hierop neer, dat de *E.M.K. van de batterij gelijk blijft aan die van de afzonderlijke elementen*,maar het aantal Ampere-uren van de batterij veel groter wordt.

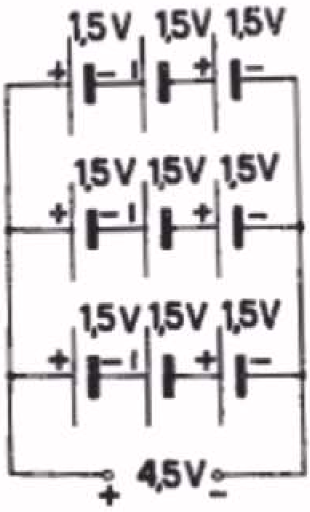
c. Gemengde schakeling (fig. 16)

Men kan de elementen gedeeltelijk in serie en gedeeltelijk parallel schakelen, bijv. zoals fig. 16 aangeeft. Deze zgn. gemengde schakeling heeft een totale E.M.K.die wordt bepaald door het aantal in serie geschakelde elementen.



Parallelschakeling van elementen. De E.M.K. van de batterij wordt nu gelijk aan die van de afzonderlijke elementen

fig. 15

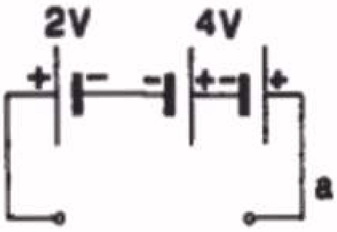


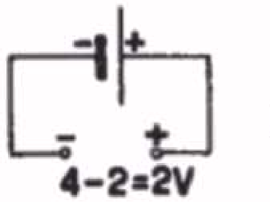
Serie- en parallelschakeling van elementen

fig.16

d. Oppositieschakeling (fig. 17)

Ook komt het voor dat de elementen tegen elkaar of in oppositie zijn geschakeld. Daarbij worden 2 gelijknamige polen met elkander verbonden, bijv. de + pool van het ene element met de + pool van het andere element; de spanning wordt dan van de beide - polen betrokken. Nu staan de twee stuwende krachten (E.M.K.'s) tegen elkander in te werken; de sterkste kracht wint het dan, maar de uiteindelijke kracht wordt slechts het verschil tussen beide krachten. Zo is het ook met de E.M.K.'s van de elkander tegenwerkende elementen. De totale EMK wordt nu gelijk aan het verschil van de E.M.K.'s en aangezien de grootste E.M.K. het wint, wordt de polariteit van de vervangings-E.M.K. gelijk aan die van de grootste E.M.K. In fig. 17 zijn bijv. een 2 V accu en een 4 V accu in oppositie geschakeld. De resulterende E.M.K. wordt 4 - 2 = 2 V, terwijl de + en - polen aan dezelfde zijde liggen als die van de 4 V accu. Men zou hier onmiddellijk de opmerking kunnen maken, dat dit in oppositie schakelen een nutteloos gedoe is. Inderdaad zal men dit gewoonlijk niet met batterijen of accu's doen, maar wij zullen later, in uitvoerigere schakelingen, dit geval van twee tegengestelde spanningen wel tegenkomen.





Oppositieschakeling van elementen. De totale E.M.K. wordt nu gelijk aan het verschil van de E.M.K.'s van de elementen.

fig. 17

SAMENVATTING

1. Een electrische stroom ontleedt een vloeistof in twee delen: een kation met een positieve lading en een anion met een negatieve lading. Men noemt deze ontleding door de electrische stroom electrolyse.

2. De zgn. droge batterijen bestaan uit een of meer elementen van Leclanché.
De beginspanning is 1.5 V of een meervoud daarvan.

3. Bij de lood-accumulator (of kortweg accu) bestaan de platen in geladen toestand uit loodsuperoxyde (positieve plaat) en lood (negatieve plaat).
In ontladen toestand worden beide platen omgezet in loodsulfaat.

4. De kenmerken van de geladen en ontladen toestand van een loodaccu zijn:

a. kleur:	geladen	positieve platen - donker bruin	
		negatieve platen - licht grijs	
	ontladen	positieve platen - licht bruin	
		negatieve platen - donker grijs	
b. spanning:	geladen	2,75 V begin	per cel
		2 V gemiddeld	per cel
	ontladen	1,75 V minimum	per cel
c. zuurgehalte:	geladen	28° Bé	
	ontladen	24° Bé	

5. Oorzaken van sulfateren van een loodaccu:

ontladen met te grote stroom
te lang ontladen laten staan
te hoog zuurgehalte
ontladen beneden 1,75 V per cel
droog staan van de accu

6. Bij serieschakeling van elementen is de totale E.M.K. van de batterij gelijk aan de som van de E.M.K.'s van de afzonderlijke elementen.

$$E_t = E_1 + E_2 + E_3 \ldots.$$

7. Bij parallelschakeling van elementen (met dezelfde E.M.K.) is de totale E.M.K. gelijk aan de E.M.K. van één element. Het aantal Ampere-uren van de batterij is echter groter geworden.

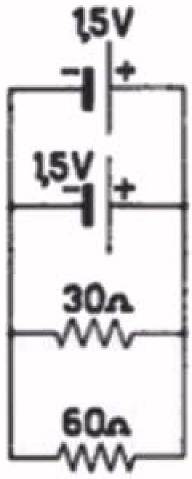
8. Elementen staan in oppositie, als hun E.M.K.'s tegen elkander in gericht zijn. De totale E.M.K. is dan gelijk aan het verschil van de E.M.K.'s van de elementen.

VRAAGSTUKKEN

1. Een anodebatterij bestaat uit 60 elementen, elk met een E.M.K. van 1,4 V en een inwendige weerstand van 1Ω .
Bepaal de totale inwendige weerstand van de batterij, de totale E.M.K. en de klemspanning bij een stroomsterkte van 0,2 A.

2. Een auto-accu (bestaande uit 3 cellen in serie) heeft een E.M.K. van 2,15 V per cel. De klemspanning over de uitwendige weerstand is 6 V. Als de stroomsterkte 1,5 A bedraagt, hoe groot is dan de inwendige weerstand per element ?

3. Op twee cellen van 1,5 V, die parallelgeschakeld zijn, worden twee weerstanden van 30Ω en 60Ω parallel geschakeld, aangesloten (zie nevenstaande figuur). (Hierbij kan de inwendige weerstand worden verwaarloosd.) Hoe groot zijn de stromen door deze weerstanden ?



4. Men wil een lamp, die bij een spanning van 24 V een stroom van 1,5 A neemt, voeden door accu's van 6 V. Deze accu's mogen een stroom van max. 0,5 A leveren. Hoeveel 6 V accu's hebt u hiervoor nodig en hoe moeten deze accu's worden geschakeld ? (Hierbij kan de inwendige weerstand van de accu worden verwaarloosd.)

16. Magnetisme

Van een magneet weet men in de allereerste plaats dat deze in staat is andere stukjes ijzer of staal aan te trekken. Men heeft deze eigenschap reeds heel lang geleden ontdekt bij een steensoort, dat in Magnesia (Voor-Azië) gevonden werd. Hiervan is de naam magneet afkomstig. Later bleek dat men hier te doen had met een ijzerhoudend erts, dat magnetische eigenschappen heeft.

Als men met een staafvormige magneet en wat stukjes ijzer zit te spelen, bemerkt men o.a. dat de aantrekkende kracht aan de beide uiteinden het grootst is en dat deze kracht afneemt naar het midden. Precies in het midden is de aantrekkingskracht practisch verdwenen. *De beide aantrekkende uiteinden noemt men de polen van de magneet.* De ene pool noemt men de Noordpool, de andere de Zuidpool.*)

Een magneet trekt ijzeren voorwerpen aan.

fig. 1

Als men twee magneten bij elkander brengt zal men bemerken, dat ze in *één* positie elkander aantrekken, in de tegengestelde positie elkander afstoten. Het blijkt dat in het geval van aantrekken de Noordpool van de ene magneet tegenover de Zuidpool van de andere magneet is geplaatst. Een afstotende kracht treedt daarentegen op als twee gelijknamige polen tegenover elkander geplaatst zijn; d.w.z. twee Noordpolen of twee Zuidpolen.

Gelijknamige polen stoten elkander af; ongelijknamige polen trekken elkander aan.

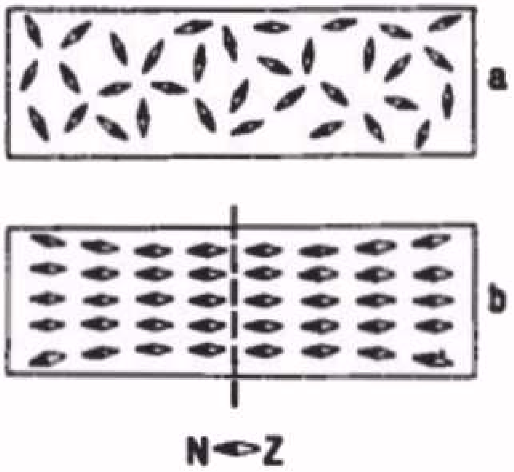
fig. 2

Men heeft reeds lang naar een verklaring van het magnetische verschijnsel gezocht. Een Duits natuurkundige Weber heeft hierover de volgende theorie opgesteld.

*) Deze benamingen vinden hun oorsprong in de aanwijzigingen van een kompasnaald. Deze naald is eigenlijk een naaldvormige magneet, die de eigenschap heeft, zich steeds in de Noord-Zuid-richting in te stellen.
De Noordpool van de naald wijst naar het Noorden, de Zuidpool naar het Zuiden.

Alle stoffen, die magnetische eigenschappen vertonen (dat zijn er slechts enkele), zijn opgebouwd uit heel kleine magneetjes, zgn. moleculair-magneetjes, die evenals de moleculen volkomen willekeurig zijn geordend. De krachten [illegible] deze moleculair-magneetjes werken dan in volkomen willekeurige richtingen, waardoor de werking naar buiten nihil is. Men kan dit vergelijken met een voor[illegible] waaraan vele touwen zijn bevestigd. Als men vele mannen tegelijkertijd aan deze touwen in willekeurige richtingen laat trekken, zal het voorwerp niet van zijn plaats komen.

Zodra echter de moleculair-magneetjes allen in dezelfde richting worden geplaatst, komen aan de eindvlakken dezelfde polen te liggen nl. de Noordpolen en de Zuidpolen. In de magneet heffen de tegen elkander liggende Noord- en Zuidpooltjes elkaar weliswaar op, maar de krachten van elk van die magneetjes hebben dezelfde richting. In totaal kan men deze krachten bij elkander optellen.



a. Principiële voorstelling van een magnetisch materiaal in neutrale toestand.
b. Idem in magnetische toestand.
fig. 3

Als men een magneet door midden breekt, blijken de uiteinden weer Noord- en Zuidpolen te vormen, hetgeen in het licht van bovenstaande verklaring duidelijk zal zijn (zie fig. 3b).

Men heeft stoffen, die reeds als delfstof in magnetische toestand verkeren, dus waarbij de moleculair-magneetjes reeds meer of minder in elkanders verlengde gerangschikt zijn. Men noemt deze materialen natuurmagneten.

In de meeste gevallen dienen de moleculair-magneetjes door een uitwendige invloed gerangschikt te worden (men noemt dit magnetiseren).
Dit magnetiseren doet men bijv. als men met een staafmagneet een spijker of een ander ijzeren voorwerp aantrekt. Dan wordt de spijker door de staafmagneet gemagnetiseerd.

De ene pool bijv. de Noordpool van de magneet oefent nl. een richtende kracht uit op de oorspronkelijk willekeurig gerangschikte moleculair-magneetjes, en wel zodanig dat alle Zuidpooltjes in de richting van de Noordpool van de staafmagneet gaan liggen. Hierdoor wordt de spijker door de staafmagneet aangetrokken. Deze beinvloeding noemt men *magnetische inductie*.

Omdat de spijker nu gemagnetiseerd is, zal ook deze in staat zijn een andere spijker aan te trekken; de tweede spijker wordt nu dus gemagnetiseerd door de eerste spijker.

Wat ziet men nu gebeuren als men de eerste spijker van de magneet afneemt ?

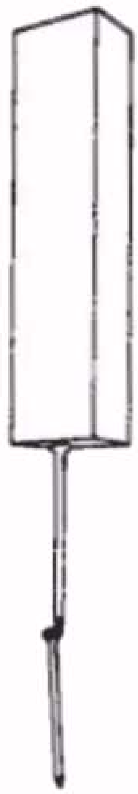
Dan zal de tweede niet meer door de eerste spijker worden aangetrokken. Blijkbaar verdwijnt dus het magnetisme van de spijker, zodra men deze van de magneet wegneemt: (de richtende werking van de magneet houdt dan immers op).

Soms merkt men dat een ijzeren voorwerp, nadat het door een magneet is aangetrokken geweest, toch nog enigszins magnetisch is, zij het dan meestal zwakker dan in aangetrokken toestand. In dat geval hebben een aantal moleculair-magneetjes hun gerichte positie behouden. Men noemt dit *remanent magnetisme.*

Nu hangt het van de samenstelling van de stof af of dit remanent magnetisme klein of groot zal zijn. Gewoon ijzer of weekijzer bezit weinig remanent magnetisme. Staal, d.i. ijzer met een bepaald koolstofgehalte, vertoont daarentegen een sterk remanent magnetisme.

Voor het magnetiseren van weekijzer is echter weinig magnetische kracht nodig, voor staal daarentegen een grote magnetische kracht of in andere woorden een sterk magnetisch veld. Maar als staal eenmaal gemagnetiseerd is, behoudt het haar magnetisme beter (men spreekt dan van een permanente magneet).De eigenschap om het magnetisme te bewaren wordt veel beter als men bij het ijzer, behalve koolstof, wolfram of cobalt mengt.

Mengt men enige metalen (o.a. tin, cobalt,en aluminium) in een bepaalde verhouding met ijzer en laat men het mengsel bij het gieten nog een speciale magnetische bewerking ondergaan, dan verkrijgt men het zgn. 'Ticonal' magneetstaal, dat o.a. in de Philips luidsprekers wordt gebruikt.



Door de magnetische inductie wordt de bovenste spijker magnetisch en trekt deze weer een andere spijker aan.
fig. 4

17. Het magnetische veld

Uit het voorgaande bleek reeds dat door de polen van de magneet op een andere magneet of een ijzeren voorwerp een kracht (afstotend of aantrekkend) wordt uitgeoefend. Om zich enigszins een voorstelling van deze kracht te kunnen maken,stelt men deze kracht voor door lijnen, zgn. *krachtlijnen.* Zij geven de richting aan waarin de kracht werkzaam is. Dit krachtlijnenverloop kan men heel eenvoudig op de volgende wijze demonstreren.

Op een blad karton strooit men een dun laagje ijzervijlsel en onder het karton houdt men een magneet. Onder invloed van het krachtenveld van de magneet,worden de ijzervijlsel-korrels gerangschikt door de krachten, die er op worden uitgeoefend. Men ziet dan bij een staafmagneet het beeld van fig. 5 te voorschijn komen, bij een hoefijzermagneet het beeld van fig. 6. (Om de wrijving van het papier voor de korrels te helpen overwinnen, verdient het aanbeveling met de vinger licht tegen het karton te tikken, zodat de korrels in beweging komen).

Men ziet hieruit dat de krachten van de ene pool naar de andere pool gericht zijn. Men heeft nu aan de krachtlijnen, die denkbeeldig de krachten van de magneet voorstellen, ook een bepaalde richting toegekend en wel steeds van de N-pool af en naar de Z-pool toe.

De sterkte van het magnetisch veld drukt men uit door het aantal krachtlijnen per oppervlakte van 1 cm^2 te nemen. *De eenheid van veldsterkte is de Oersted.*

Het totaal aantal krachtlijnen over de gehele oppervlakte noemt men de *krachtstroom* of de *flux*. Men drukt deze uit in Maxwell.

Het krachtlijnen verloop bij een staafmagneet, met behulp van ijzervijlsel zichtbaar gemaakt.

fig. 5

Het krachtlijnenverloop bij een hoefijzermagneet met behulp van ijzervijlsel zichtbaar gemaakt.

fig. 6

18. Electro magnetisme

Een koperdraad, waardoor men een electrische stroom voert, wekt eveneens een magnetisch veld op.

Brengt men een compasnaald in de nabijheid van deze draad, onverschillig of deze draad blank of geisoleerd is, dan zal men de naald onder invloed van het magnetisch veld zien uitslaan.

Hoe dit veld verloopt, kan men weer duidelijk met ijzervijlsel laten zien.

Men neme daarvoor een blad karton waardoor loodrecht een draad gestoken wordt; deze draad sluit men op een batterij aan. Op het karton strooit men rond de draad ijzervijlsel. Men zal nu zien, dat dit ijzervijlsel zich in cirkelvormige banen om de draad groepeert (fig. 7).

De richting van het veld kan men met de kompasnaald vaststellen. Het blijkt dan, dat bij een draad, waarin de stroom van ons af loopt, een veld wordt opgewekt, waarvan de krachtlijnen in de richting van een uurwerk lopen. Verder blijkt, dat het magnetisch veld het sterkste is onmiddellijk om de draad en dat de sterkte afneemt met de afstand tot de draad.

Aangezien in een radiotoestel, versterker, enz. vele draden lopen, waardoor een stroom vloeit, die een magnetisch veld opwekt, zullen wij met dit verschijnsel in latere lessen menigmaal te maken hebben.

19. Spoel

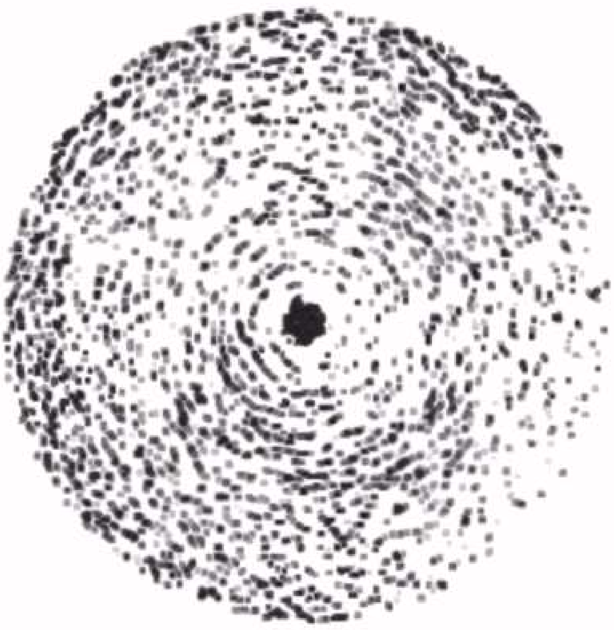
In het radiotoestel hebben wij echter nog meer te maken met een draad in spiraal vorm of op een speciale wijze op een koker gewikkeld.Wij willen eerst eens de bijzonderheden van een draadwikkeling bekijken, als door deze draad een electrische stroom vloeit.Rond deze draad wordt weer een magnetisch veld opgewekt, Daar de draadwinding een cirkelvorm heeft, ziet men nu dat alle krachtlijnen, die het magnetisch veld voorstellen, zich als het ware samenbundelen binnen in de winding (fig.10). Men krijgt dus in de winding een geconcentreerd magnetisch veld, op dezelfde wijze als men dit in een staafmagneet heeft.

Buiten de winding verspreiden zich de krachtlijnen daarentegen.

Legt men nu meer windingen naast elkaar, zoals in fig. 11 en 12, dan zullen de magnetische krachtlijnen zich allen bij elkander voegen in één richting. Het zal duidelijk zijn dat het magnetisch veld des te sterker wordt, naarmate men meer windingen gebruikt.

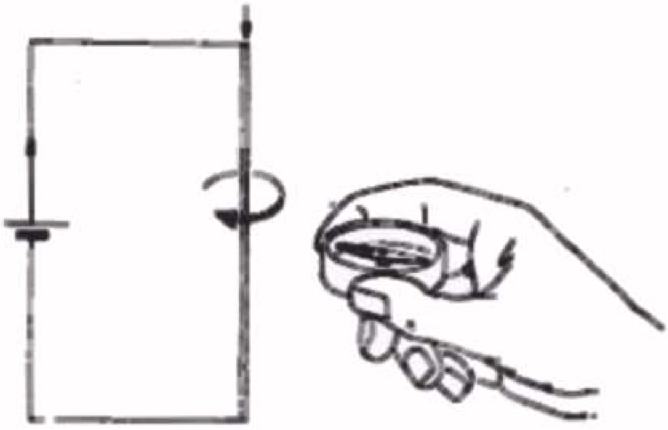
Men noemt een dergelijke combinatie een spoel (of ook wel een solenoïde). Welke richting heeft nu dit magnetisch veld in de spoel ?

Zoals fig. 11 laat zien lopen de krachtlijnen binnen in de spoel van Z naar N en buiten om de spoel van N naar Z terug. Men onthoudt dit wel



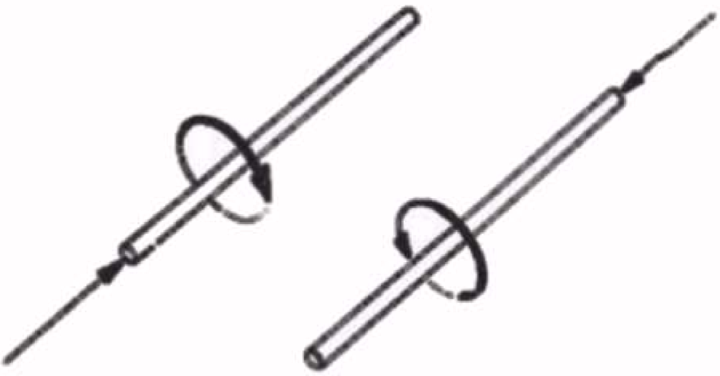
Het krachtlijnenverloop rond een stroomvoerende draad, met behulp van ijzervijlsel zichtbaar gemaakt.

fig. 7



Rondom een stroomvoerende draad ontstaat een magnetisch veld; een kompas in de nabijheid van deze draad zal uitslaan.

fig. 8

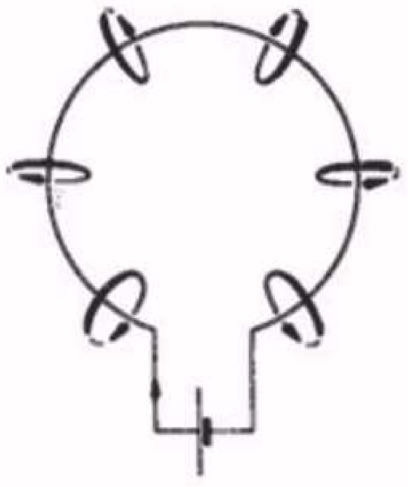


Richting van het magnetisch veld, afhankelijk van de richting van de stroom door de draad.

fig. 9

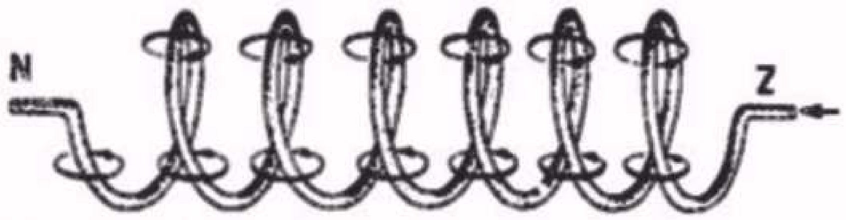
met de volgende regel:
Legt men de palm van de rechter hand zodanig op de spoel dat de richting, waarin de stroom vloeit dezelfde is als die waarheen de vingertoppen wijzen dan geeft de gestrekte duim de richting aan, waarin zich de Noordpool bevindt (fig. 13).

De sterkte van het magnetisch veld blijkt afhankelijk te zijn van de stroomsterkte in de spoel en van het aantal windingen. Hoe sterker de electrische stroom,des te sterker is het veld, maar het veld wordt ook sterker naarmate de spoel meer windingen heeft, Men zegt daarom, dat de sterkte van het magnetisch veld van een spoel wordt bepaald door het aantal Ampere-windingen, d.w.z. door het product van de stroomsterkte en het aantal windingen.
Als men dus een bepaalde magnetische veldsterkte in een spoel wil hebben, kan men dit doen met een spoel met weinig windingen, waardoor echter een grote stroom vloeit; men kan echter hetzelfde bereiken door een spoel te gebruiken met veel windingen, waardoor een kleine stroom gaat. Het hangt van de toepassing af, welke oplossing de voorkeur verdient.

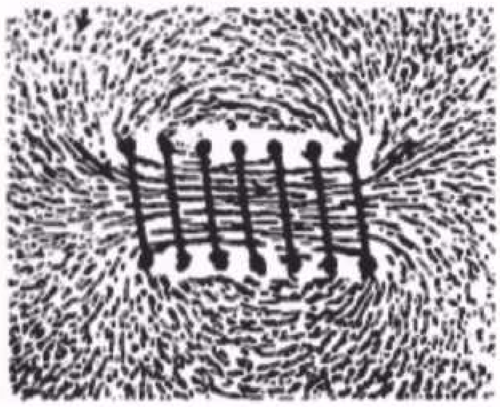


Buigt men een stroomvoerende draad rond, dan zullen de krachtlijnen zich binnen de wikkeling verenigen.

fig. 10



Een aantal windingen naast elkaar vormen een spoel.
fig. 11



Magnetische krachtlijnen verloop in en om een spoel, met behulp van ijzervijlsel zichtbaar gemaakt.

fig. 12

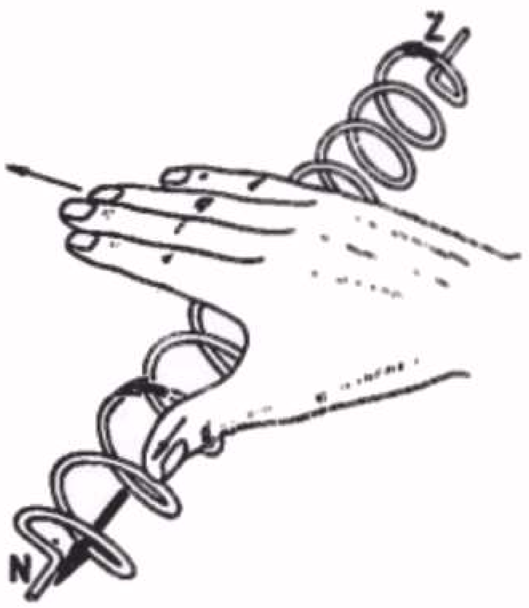
20. Spoel met ijzerkern

Wij brengen nu een ijzeren staaf in de spoel. Wat gebeurt er nu als een electrische stroom door de spoel vloeit ?

Door de electrische stroom zal allereerst een magnetisch veld worden opgewekt, waarvan de richting N-Z in de lengte-as van de spoel loopt. Nu zullen echter tevens de moleculair-magneetjes van de ijzeren staaf worden gericht onder invloed van het magnetisch veld van de spoel. De ijzeren staaf wordt dus door inductie eveneens magnetisch, waardoor het totale veld in de spoel wordt versterkt.

Men noemt een dergelijke combinatie een *electromagneet*.

Men noemt de verhouding waarin het aantal krachtlijnen van de spoel + ijzerkern is toegenomen, de permeabiliteit van het ijzer, en stelt deze voor door μ (de Griekse letter m, spreek uit mu). Het aantal krachtlijnen per cm^2 in het ijzer noemt men de magnetische inductie of kortweg inductie. Men stelt de inductie voor door de letter B; zij wordt uitgedrukt in de eenheid Gauss.

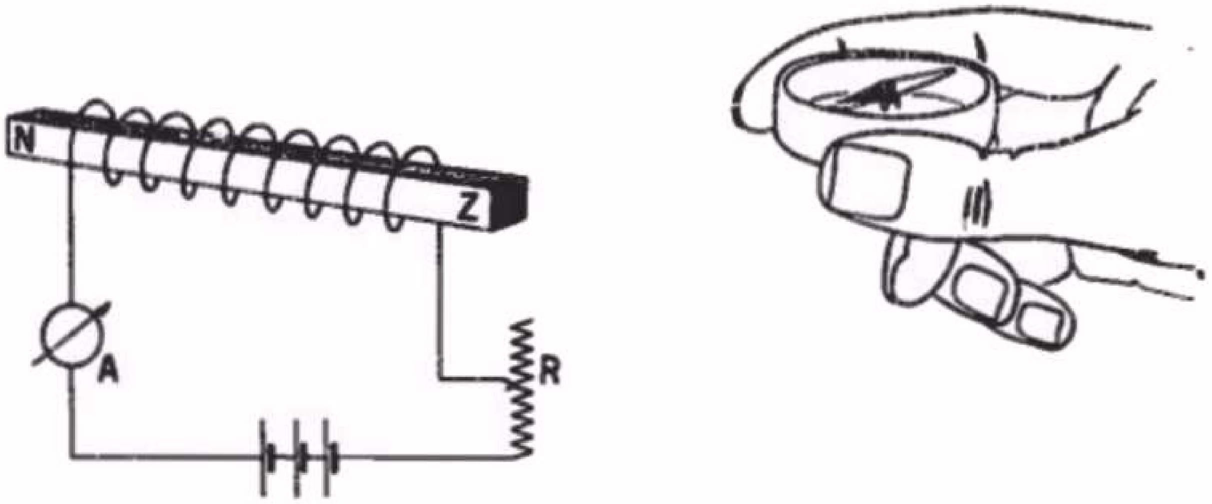


Illustratie van de rechter handpalmregel, ter bepaling van de richting van het magnetisch veld in een spoel.

fig. 13

Wij willen de eigenschappen van een dergelijke magneet eens nader bekijken. Daarvoor gebruiken wij de opstelling van fig. 14. Hierin wordt de spoel met ijzerkern op een autoaccu aangesloten via een regelbare weerstand R. Tevens is in de keten een stroommeter A opgenomen. Met behulp van de weerstand R kan de stroom door de spoel worden geregeld. Immers op elk moment is deze stroom gelijk aan:

$$I = \frac{\text{batterij-spanning}}{\text{weerstand}}$$



Schema voor demonstratie van het verband tussen de totale magnetische sterkte van de spoel met ijzerkern en de stroom door de spoel.

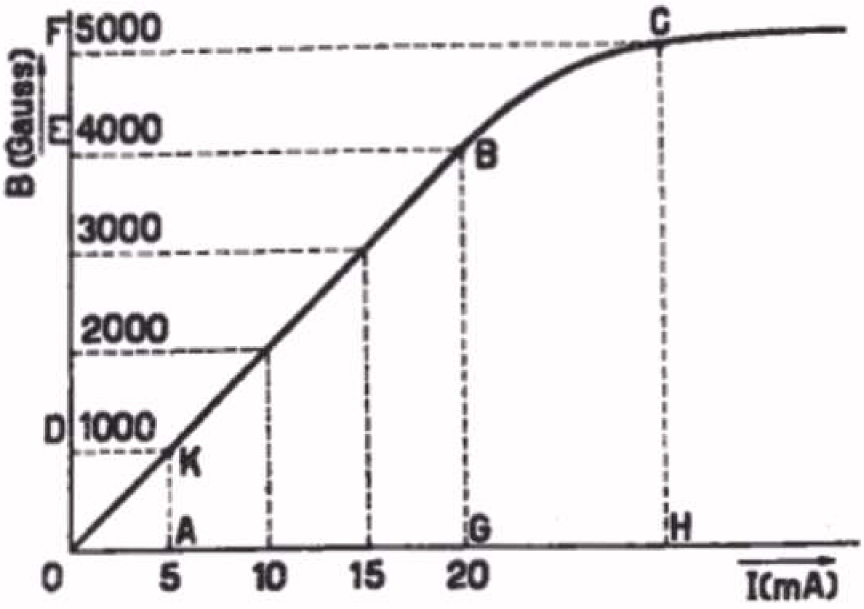
A = stroommeter R = regelbare weerstand.

fig. 14

We beginnen met de weerstand helemaal in te draaien, zodat de stroom de kleinste waarde heeft, bijv. 5 mA. Met behulp van een kompas constateren wij op een bepaalde afstand van de spoel een bepaalde uitslag. Nu verkleinen wij R door de loper iets naar beneden te brengen, totdat de meter bijv. 10 mA aangeeft. Door de grotere stroom zal het magnetisch veld sterker zijn geworden, hetgeen merkbaar is aan het kompas. Het kompas reageert nu nl. reeds

op een veel grotere afstand tot de spoel. Zo kunnen wij door verkleining van de weerstand R de stroom door de spoel steeds meer vergroten en zullen wij de magnetische inductie steeds sterker zien worden, (het kompas dus op een steeds grotere afstand van de spoel zien reageren), tot op een bepaald moment. Daarna zien wij weliswaar bij een grotere stroom de magnetische inductie nog wel toe nemen, maar lang niet in die mate als in het begin het geval was. Vanaf een bepaalde waarde van de stroom neemt het magnetische veld zelfs practisch niet meer in sterkte toe. Daarna heeft het dus geen zin meer de stroom door de spoel te verhogen.

Fig.15 geeft hiervan een beeld. Op de verticale as is de magnetische inductie (gesymboliseerd door de letter B), uitgedrukt in de eenheid Gauss, uitgezet; op de horizontale lijn de stroom I door de spoel. Bij een stroom van 5 mA (punt A) is de inductie B 1000 Gauss, corresponderende met punt D. Door uit D en A een horizontale resp. verticale lijn te trekken, krijgt men punt K, die dus zowel de grootte van de inductie B als van de stroom I vastlegt. Zo behoort punt B bij een inductie van 4000 Gauss (punt E) en een stroom van 20 mA (punt G). Men kan nu voor alle metingen de punten vastleggen en deze punten onderling verbinden. Men krijgt dan de lijn OC in fig. 15.



Grafiek die het verband toont tussen de totale magnetische veldsterkte B van de spoel met ijzerkern en de stroom I in de spoel. Bij het punt C is de ijzerkern verzadigd, en neemt de totale veldsterkte B practisch niet meer toe, ondanks een toenemen van de stroom I.

fig. 15

Men kan zich nog afvragen hoe het komt dat deze lijn bij het punt C meer horizontaal gaat lopen, met andere woorden, dat na een bepaalde stroom door de spoel de magnetische inductie niet meer toeneemt. Hiervoor moeten wij terug grijpen naar par. 15 over het magnetisme.

Daarin hebben wij verteld, dat een ijzeren voorwerp magnetisch wordt, zodra de moleculair-magneetjes in elkanders verlengde gaan liggen. Dit geschiedt bijv. onder invloed van een ander magnetisch veld. Nu hangt het echter van de sterkte van dit magnetisch veld af, hoeveel van deze moleculair-magneetjes in de rij gaan staan. Met een zwak veld van de spoel zullen slechts een gedeelte van de moleculair-magneetjes in elkanders verlengde gaan liggen.

Hoe groter de stroom door de spoel wordt, en dus het magnetisch veld van de spoel, des te meer moleculair-magneetjes gerang-

schikt zullen worden. Op een bepaald moment (in fig. 16 bij letter C) staan practisch alle magneetjes op hun plaats, waarna een vergroting van het veld geen verandering meer in de ijzerkern kan veroorzaken. De ijzerkern heeft dan de maximale magnetisatie bereikt. Men noemt dit *de magnetische verzadiging* en het punt C, *het verzadigingspunt*.

In plaats van de stroomsterkte in de spoel, zet men op de horizontale as ook dikwijls uit de veldsterkte H van de spoel alleen, dus zonder ijzerkern. Men spreekt dan van de BH-kromme. Aangezien door deze kromme het onmiddellijke verband tussen de magnetische inductie B van de spoel met ijzerkern en de veldsterkte (H) van de spoel zonder ijzerkern wordt gegeven, ziet men daaruit direct hoeveel sterker het magnetisch veld is geworden door toevoeging van de ijzerkern. Zoals reeds aan het begin van deze paragraaf werd vermeld drukt men dit uit door de verhouding $\frac{B}{H}$ en noemt men dit de *permeabiliteitsfactor*. Wij zullen op dit punt nog uitvoeriger terugkomen bij de behandeling van de smoorspoel en van de transformator.

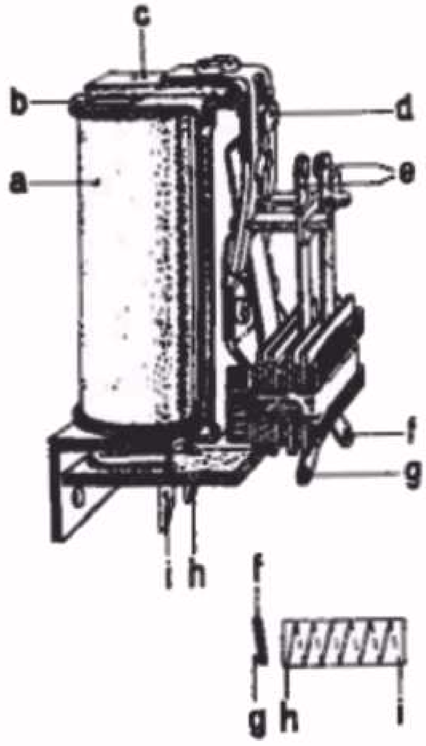
21. Toepassingen van electromagnetisme

a. Relais

Een veel gebruikte, eenvoudige toepassing van het electro magnetisme is het relais (fig. 16). Een relais bestaat uit een spoel a met ijzerkern b. Boven de ijzerkern is een ijzeren plaatje c door middel van een beugel met veer d aangebracht. Met deze beugel is één van de contacten e verbonden. Zonder stroom door de spoel wordt de beugel door de veer d naar links getrokken, zodat de contacten e verbroken zijn (deze contacten zijn via de soldeerlippen g en f naar buiten gevoerd).

Zodra echter via de aansluitcontacten i en h een stroom door de spoel a wordt geleid, wordt de ijzerkern b magnetisch. Deze kern trekt het plaatje c aan, de beugel wordt naar rechts gedraaid en de contacten e worden gesloten.

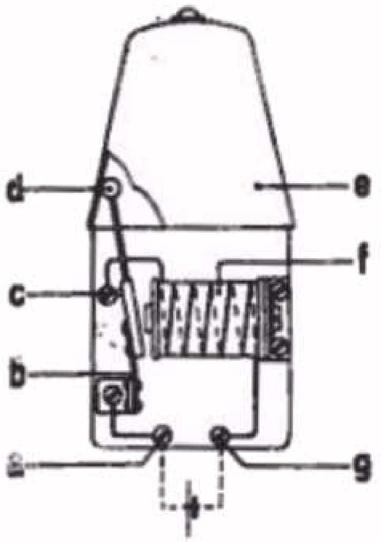
Door middel van een relais verbreekt of sluit men dus een stroomkring ten gevolge van een stroom in een andere keten. Als men de contacten e zwaar genoeg uitvoert, kan men een keten met een grote stroom sluiten door middel van een zwakke stroom in de spoel van het relais.



Constructie van een relais, met principe schema.
a. spoel met ijzerkern b.
c. ijzeren plaatje
d. veer
e. contacten
f en g. aansluitlippen van de contacten e
i en h. aansluitcontacten van de spoel
fig. 16

b. Electrische schel

Ook de electrische schel, waarvan het schema in fig. 17 is getekend, berust op de werking van het electro-magnetisme. Bij aansluiting van een element op de klemmen a-g, loopt een stroom via de punten b en c door de spoel f met ijzerkern terug naar g. Door de stroom wordt de ijzerkern magnetisch en wordt de klepel d aangetrokken. Zodra dit gebeurt wordt echter de stroomketen bij c onderbroken, en valt het magnetisch veld weg. De klepel wordt dan niet meer door de ijzerkern aangetrokken en wordt door de veer, waaraan de klepel is bevestigd, teruggetrokken, zodat de stroomkring weer gesloten wordt. Daarna wordt de klepel weer door de ijzerkern aangetrokken, enz. Op deze wijze wordt de klepel op en neer bewogen, waarbij het uiteinde telkens tegen een metalen kop slaat.



Constructie van een electrische schel.
a en g. aansluitklemmen van de batterij
b. veer van de klepel
c. sluitcontact van de klepe met de stroomketen
d. klepel
e. bel
f. spoel

fig. 17

SAMENVATTING

1. Een magneet is een metalen voorwerp, dat op ijzeren lichamen een aantrekkende werking uitoefent. Men onderscheidt twee polen - de Zuidpool en de Noordpool.

2. Gelijknamige polen stoten elkander af; ongelijknamige polen trekken elkaar aan.

3. Iedere magnetische stof is opgebouwd uit moleculair-magneetjes, die in neutrale toestand ongeordend door elkaar liggen. In magnetische toestand zijn zij daarentegen zodanig geordend, dat alle gelijknamige moleculaire pooltjes naar dezelfde kant gericht zijn.

4. Magnetische inductie is het verschijnsel dat een ijzeren voorwerp onder invloed van een magnetisch veld magnetisch wordt.

5. Weekijzer laat zich gemakkelijk magnetiseren, doch verliest, als het aan zichzelf wordt overgelaten, zijn magnetisme practisch geheel. Het resterende magnetisme wordt remanent magnetisme genoemd.

6. Staal is moeilijk te magnetiseren, doch behoudt na de magnetisatie een groot deel van zijn magnetisme.
Zulk een magneet wordt daarom permanente magneet genoemd.

7. De krachten die door een magneet worden uitgeoefend, stelt men symbolisch voor door krachtlijnen. Zij verlopen buiten de magneet van Noord naar Zuid, binnen de magneet van Zuid naar Noord.

8. Onder de veldsterkte van een magnetisch veld verstaat men het aantal krachtlijnen, dat ter plaatse door 1 cm^2 gaat, gemeten loodrecht op de richting van de krachtlijnen. Men geeft deze veldsterkte aan door de letter H en meet ze in Oersted.

9. Om een stroomvoerende draad ontstaat een cirkelvormig magnetisch veld. Een van ons afgaande stroom veroorzaakt een veld dat rechtsom verloopt.

10. Buigt men een draad tot een gesloten winding, dan zullen de krachtlijnen zich daarbinnen verenigen. Een aantal van deze windingen naast elkaar vormen een spoel.

11. De plaats van de Noord- en Zuidpool van de spoel kan men met behulp van de *rechter handpalm regel* bepalen:
Legt men de palm van de rechterhand zodanig op de spoel, dat de richting, waarin de stroom vloeit, dezelfde is als die waarheen de vingertoppen wijzen, dan geeft de gestrekte duim de richting aan, waarin zich de N-pool bevindt.

12. Het product van stroomsterkte en aantal windingen noemt men het aantal ampere-windingen (AW) van een spoel.

13. Brengt men een ijzeren kern in een spoel, dan wordt de ijzerkern door het magnetische veld van de spoel gemagnetiseerd. Het totale aantal krachtlijnen per cm^2 noemt men de magnetische inductie; zij wordt uitgedrukt in Gauss en aangeduid met de letter B.

14. De verhouding $\frac{B}{H}$ heet permeabiliteitsfactor; het is de factor, waarmee de sterkte van het magnetisch veld van de spoel toeneemt na het aanbrengen van de ijzerkern.

VRAGEN EN VRAAGSTUKKEN

1. Hoe groot is het aantal krachtlijnen per cm^2 van een magneet met een inductie van 5000 Gauss en van 10500 Gauss ?

2. Bereken de inductie van een magneet, wanneer de krachtstroom 70000 Maxwell en de doorsnede 14 cm^2 is.

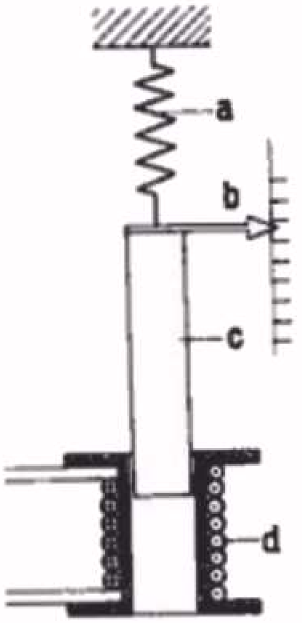
3. Een spoel bevat 4000 windingen met een gemiddelde lengte van 20 cm per winding en een draaddikte van 0,2 mm. Bereken de draadlengte, de doorsnede, de weerstand, de stroomsterkte en het aantal AW, als de spanning over de spoel 10 V bedraagt. De soortelijke weerstand van de spoeldraad is 0.0172 Ω

4. U hebt twee gelijk uitziende staven met dezelfde afmetingen, waarvan één staaf een magneet is en de andere staaf van weekijzer. Hoe kunt U nu zonder andere hulpmiddelen nagaan, welke staaf de magneet is ?

22. Weekijzermeter

a. Principe

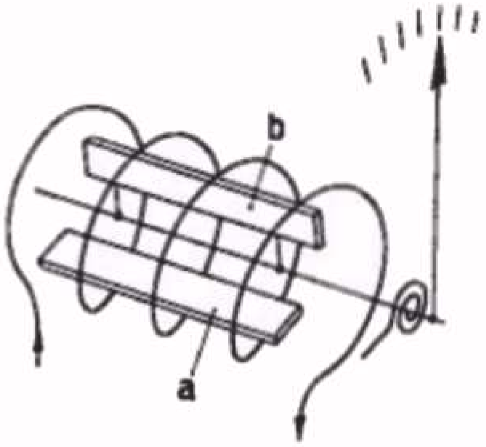
In Par. 15 van les 4 hebben wij geconstateerd dat er tussen 2 magneten een aantrekkende of afstotende kracht bestaat. Verder lazen wij in §§ 17 en 18 dat om een stroomvoerende draad of in een spoel een magnetisch veld wordt opgewekt, waarvan de richting afhankelijk is van de richting van de stroom. Het zal daarom logisch zijn dat een spoel waarin een stroom loopt, een aantrekkende kracht uitoefent op een weekijzeren staaf. Men kan dit vrij gemakkelijk met de opstelling in fig. 1 demonstreren. Een weekijzeren staaf wordt aan een veer bevestigd en vlak boven een spoel gehangen waardoor een stroom wordt gestuurd. Het magnetisch veld van de spoel zal in de ijzeren staaf magnetisme induceren d.w.z. onder invloed van het magnetische veld van de spoel worden de moleculair-magneetjes in de ijzeren staaf gericht en wel zodanig dat de Zuidpooltjes zich tegenover de Noordpool van het magnetische veld van de spoel zullen stellen. Hetzelfde gebeurt als de ijzeren staaf zich tegenover een Zuidpool van het veld van de spoel bevindt, dus wanneer de richting van de stroom in de spoel juist omgekeerd is. Maakt men de stroom door de spoel sterker, dan zal het magnetisch veld van de spoel sterker, en de aantrekkende kracht van de spoel op de weekijzeren staaf, groter worden. De staaf zal dus meer in de spoel worden getrokken. Hierop berust o.a. de werking van de weekijzermeter volgens het zgn. aantrekkingsprincipe. Aangezien deze constructie weinig wordt toegepast, zullen wij hierop niet verder ingaan.



Principe van de weekijzermeter volgens het aantrekkingsprincipe. De ijzerstaaf c wordt in de spoel d getrokken, zodra hierdoor een stroom vloeit. De veer a zorgt voor de tegenkracht, terwijl de wijzer b aflezing op de schaal mogelijk maakt.

Fig. 1

Het andere principe van de weekijzermeter werkt volgens het afstotingsprincipe. Dit is in figuur 2 voorgesteld. Men heeft 2 ijzeren plaatjes binnen in een spoel aangebracht. Het ene plaatje is onbeweegbaar aangebracht, het andere plaatje is daarentegen draaibaar. Zodra door de spoel een stroom vloeit, zal het magnetische veld van deze spoel de plaatjes magnetiseren. Aangezien deze beide plaatjes op dezelfde wijze in het veld zijn aangebracht, zullen zij op dezelfde wijze worden gemagnetiseerd, zodat zij



Principiële voorstelling van de weekijzermeter volgens het afstotingsprincipe. De plaatjes a (vast) en b (draaibaar) stoten elkander af, zodra door de spoel een stroom loopt.

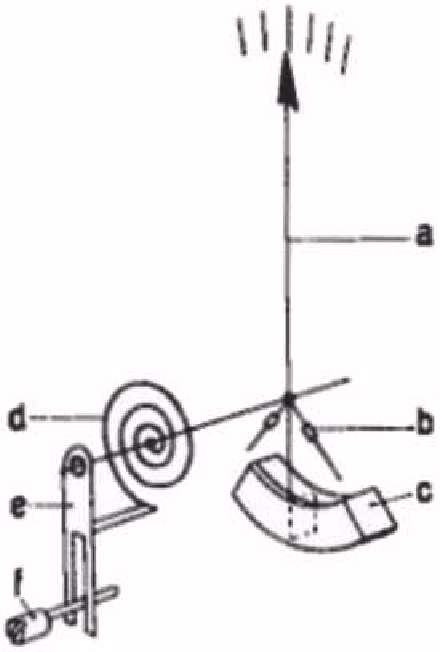
Fig. 2

met gelijknamige polen tegenover elkander komen te staan; zij zullen elkander dus afstoten. Deze afstotende kracht zal des te sterker zijn naarmate hun magnetisme sterker is.

b 1. Constructie

Als alleen deze kracht aanwezig zou zijn, zou de wijzer op maximum uitslaan, aangezien er behalve de wrijving geen andere remmende kracht aanwezig is.
Er moet dus een tweede kracht worden opgewekt, die er voor zorgt dat de wijzer juist in die positie blijft stilstaan, die overeenkomt met de waarde van de te meten stroom. Men ziet dit heel eenvoudig geillustreerd door de werking van een weegschaal. Als men bij de weegschaal op de linkerschaal ½ kilo appels of één kilo appels legt, zal de schaal in beide gevallen volledig naar links uitslaan. Zodra men echter op de rechter schaal een tegengewicht legt, zal er evenwicht in de weegschaal komen, zodra de kracht van de gewichten die van de appels opheft. Terugkomend op het metersysteem zal dus een tegenkracht moeten worden aangebracht die steeds juist gelijk moet zijn aan de kracht die door het bewegende systeem wordt uitgeoefend. Voor deze tegenkracht (men noemt dit het tegenkoppel of veermoment) gebruikt men tegenwoordig meestal een spiraalveer (zie fig. 4d en 9g); door de uitwijking van de naald wordt de veer meer in elkander gedraaid of getordeerd en ontstaat een zog. torsiekracht die des te groter wordt naar mate de wijzer meer uitslaat. Het ene uiteinde van de veer is in de regel aan een draaibaar armpje e bevestigd, waarmee de 0-stand van de meter kan worden gecorrigeerd. (Met behulp van de excentrische stift f die door het meterglas bereikbaar is.)

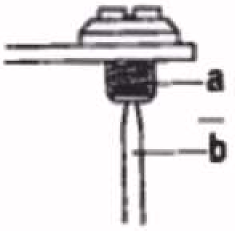
Zodra de gewichten op de rechter schaal gelijk zijn aan het gewicht van de appels op de linker schaal, bevindt de weegschaal zich in evenwicht. Fig. 3



Eenvoudige voorstelling van de luchtdemping en van de nulpuntscorrectie.
a : wijzer
b : contragewichtjes voor het uitbalanceren van de wijzer
c : dempingskamer, waarin de dempingsvleugel beweegt
d : torsieveer die voor de tegenkracht zorgt.
e : draaibaar armpje met vork waarin
f : de excentrische schroef past.

Fig. 4

Het is uiteraard belangrijk dat de wijzer uiterst licht loopt. De wrijving bij het bewegen van de wijzer moet gering zijn. Het draaisysteem wordt daarom meestal van een zog. puntlagering met een bronzen lager of een agaatsteentje (fig. 5) voorzien. In verband hiermede is het ook belangrijk dat de naald goed uitgebalanceerd is. Hiertoe zijn aan de staart van de wijzer twee stangetjes (fig. 4b en fig. 9e) aangebracht. Soms bestaat de staart van de wijzer uit 2 dunne ronde stangetjes met fijne schroefdraad, waarop contragewichtjes heen en weer kunnen worden geschoven (fig. 4). Door het ene gewichtje dichter bij de as en het andere er verder van af te plaatsen, kan men bovendien het evenwicht naar links of naar rechts verplaatsen. Bij de fabricage verplaatst men deze gewichtjes dan zo lang, tot het systeem bij draaien

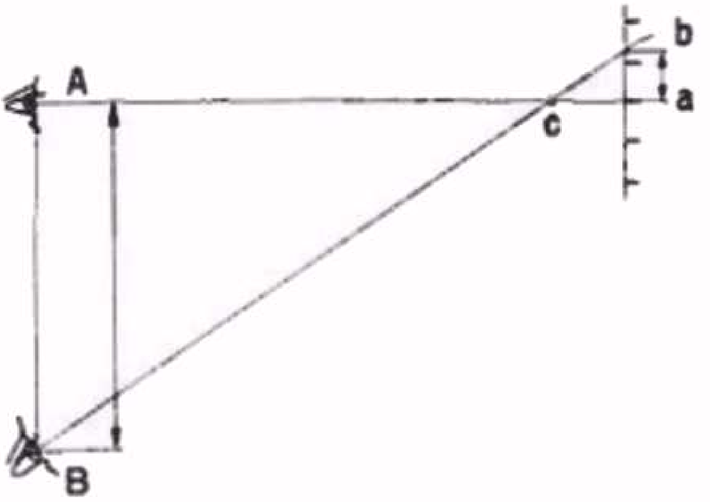


Voorbeeld van een puntlagering van het draaisysteem.
a = lagerbusje
b = asje, waarop de wijzer en het draaibare vleugeltje zijn bevestigd.

Fig. 5

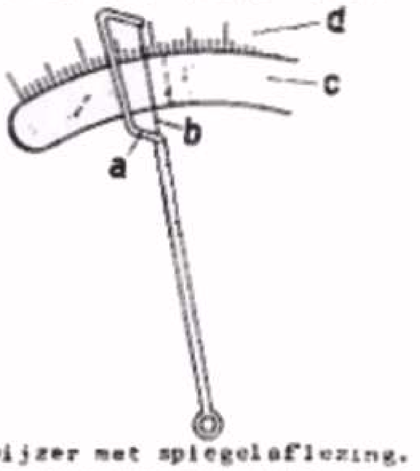
van de meter in iedere stand in evenwicht is.

Voor de wijzer zelf treftmen ook verschillende uitvoeringen aan, afhankelijk van de gewenste graad van nauwkeurigheid. De eenvoudigste wijzer, maar ook de minst nauwkeurige is die met een gewone meer of minder dikke pijl (fig. 16k). Aangezien men de wijzer altijd op een, zij het kleine, afstand boven de schaal moet laten lopen, heeft men hierbij een grote kans op afleesfouten, die men met parallax betitelt. De verklaring voor deze afleesfout ziet men onmiddellijk uit fig. 6. De juiste positie van het oog is in A, waarbij men recht voor de schaal staat en de aflezing samenvalt met het punt a. Zodra men de stand van de wijzer c schuin afleest, bijv. in positie B, noteert men een te grote of een te kleine uitslag, afhankelijk van het feit of men links of rechts van de juiste positie afleest. In fig. 6 is de afleesfout bijv. gelijk aan de afstand a - b op de schaal.



Eenvoudige voorstelling voor het verklaren van de afleesfout (parallax). Als de goede positie voor het aflezen in A is, zodatmen recht tegenover de wijzer c staat, komt de aflezing met punt a overeen. De positie B is fout, omdat men nu een afleesfout gelijk aan de afstand ab krijgt. Fig. 6

Om dit te voorkomen, gebruikt men veel de zog. meswijzer. (fig. 9m). Hierbij wordt de afleesfout vermeden indien men zo op de wijzer kijkt, dat men het mes als een dunne lijn ziet. Soms voorziet men de schaal nog van een spiegel; nu moet men het mes als een scherpe lijn in het verlengde van haar spiegelbeeld zien. Ook ziet men dikwijls in combinatie met de spiegelaflezing de draadwijzer gebruikt (fig. 7). Hierbij is een dunne draad b strak gespannen in een beugel a aan het eind van de wijzer. Verder ziet men op deze figuur de spiegelstrook c en daarboven de schaal d.



Draadwijzer met spiegelaflezing.
a = beugel waarin de draad b strak is gespannen
c = spiegelstrook Fig. 7
d = schaal

b 2. Demping

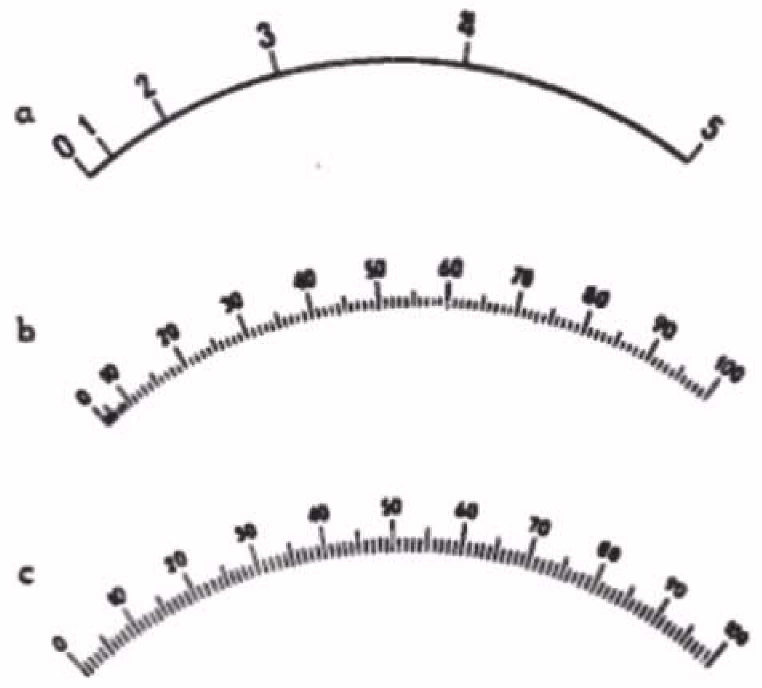
Als bij een bepaalde stroom de wijzer uitslaat, zal de wijzer, zonder voorzorgsmaatregelen, enige tijd om zijn eindwaarde blijven slingeren. Dit werkt natuurlijk niet prettig. De meters worden daarom altijd voorzien van een dempingsinrichting die er voor zorgt dat de wijzer practisch zonder slingeren zijn eindwaarde bereikt.

Bij de weekijzermeter wordt meestal zog. luchtdemping toegepast (fig. 4 en fig. 9). Daarbij is de wijzer voorzien van een dun aluminium plaatje (dempingsvleugel) dat in een vrijwel afgesloten ruimte (dempingskamer) (fig. 9k) juist vrij kan bewegen. Wanneer de wijzer heen en weer wil slingeren, ondervindt de dempingsvleugel weerstand door de in de dempingskamer opgesloten lucht, waardoor het slingeren van de wijzer wordt afgeremd.

b 3. Schaal

Men zal in het algemeen naar een lineaire schaalverdeling streven. Hierbij neemt de uitslag van de wijzer lineair met de te meten spanning of stroom toe en zal de leesbaarheid van de schaal op alle plaatsen even duidelijk zijn (het lineair toenemen van de uitslag van de wijzer betekent, dat een 2 x zo grote stroom overeenkomt met een 2 x zo grote uitslag van de wijzer, een 3 x zo grote stroom, een 3 x zo grote uitslag enz.)

Bij de weekijzermeter zou de schaal zonder voorzorgsmaatregelen niet lineair, maar kwadratisch zijn, d.w.z. een stroom die 2 x zo groot wordt, geeft een uitslag van de meter die $2^2 = 2 \times 2 = 4$ x zo groot is; een 3 x grotere stroom zal overeenkomen met een $3^2 = 9$ x grotere uitslag enz. Dit kwadratische karakter is nauw verbonden met het principe van de weekijzermeter. Immers, wanneer de stroomsterkte 2 x zo groot wordt, wordt de magnetische veldsterkte van de spoel, dus van beide plaatjes in de spoel 2 x zo groot. Aangezien de afstotende kracht tussen de plaatjes wordt bepaald door de magnetische sterkte van beide plaatjes, wordt de afstotende kracht 2 x 2 = 4 x zo groot. Dientengevolge zal de schaal van een weekijzermeter de vorm van fig. 8a krijgen. Dit is echter zeer onpractisch, daar dan ± 1/5 gedeelte van de schaal, dit is het begin, dermate samengedrongen is, dat het niet bruikbaar is. In verband hiermede geeft men de plaatjes in de spoel een speciale vorm (zie fig. 9c en 9d), zodat de afstotende kracht, van af een bepaalde sterkte, nagenoeg constant blijft bij toenemende stroom. De schaalverdeling is nu weliswaar aan het begin nog enigszins kwadratisch, voor het grootste gedeelte zal zij echter vrijwel lineair zijn. (fig. 8b).

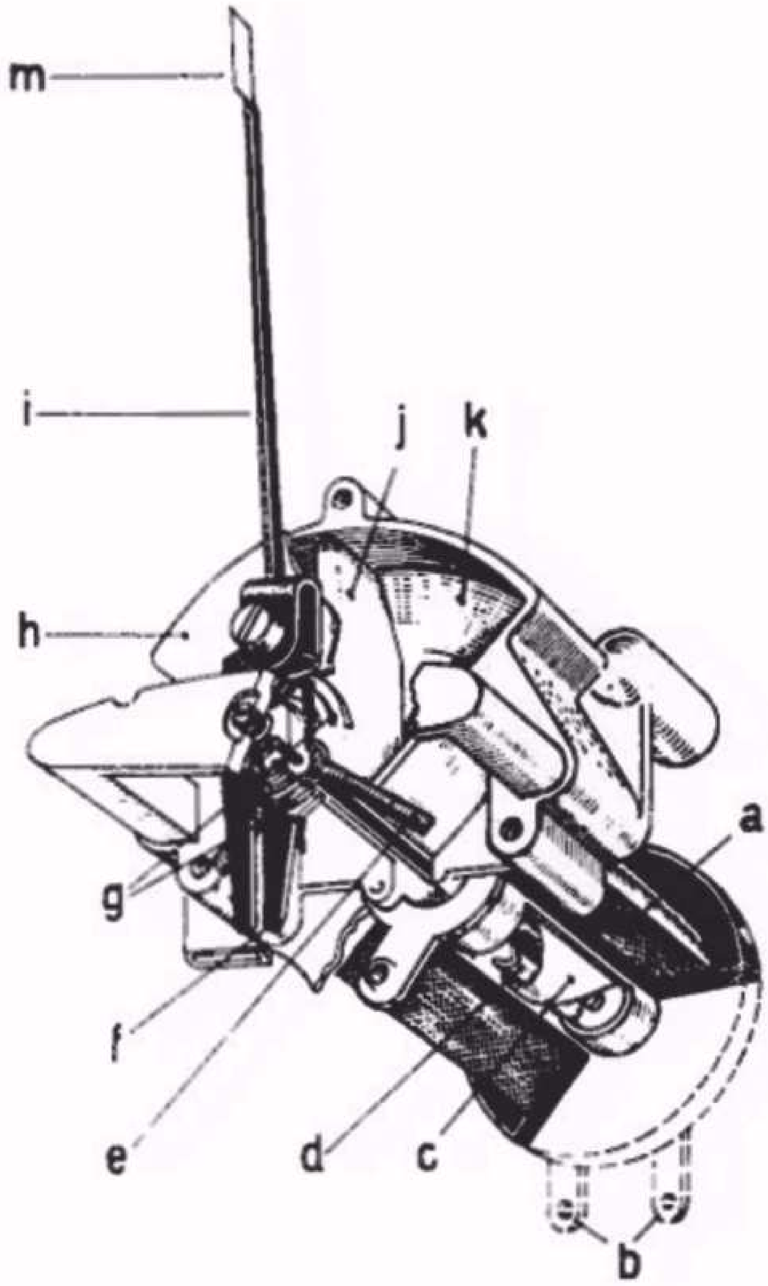


3 Verschillende schaalindelingen.
a = kwadratische schaal
b = gelineariseerde kwadratische schaal, het grootste gedeelte van de schaal is lineair. Het begin is echter nog samengedrongen.
c = lineaire schaal.

Fig. 8

b 4. Complete constructie

Figuur 9 toont tenslotte een vereenvoudigde constructietekening van het complete systeem van een weekijzerinstrument. Hierin is a de spoel waardoor de stroom vloeit; c en d zijn de afbuigplaatjes in de spoel waarvan de afstotende kracht dus toeneemt met de grootte van de stroom.



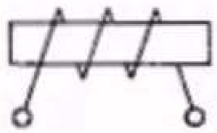
Vereenvoudigde constructietekening van het metersysteem van een weekijzerinstrument.

a : doorsnede van de spoel, waardoor de te meten stroom vloeit
b : aansluitcontacten van de spoel
c : het vaste weekijzeren plaatje
d : het draaibare weekijzeren plaatje
e : balanceerstaafjes van de wijzer
f : vork voor de nulpuntsinstelling
g : torsieveer
h : afsluitdeksel van de dempingskamer
i : wijzer
j : dempingsvleugel
k : dempingskamer
m : mesvormig einde van de wijzer.

Fig. 9

g is de spiraalveer die voor de tegenwerkende kracht zorgt. Aan de wijzer i is de dempingsvleugel j gekoppeld, die beweegt in de dempingskamer k en gesloten is door het plaatje h. De vork f is verbonden aan de torsieveer g. Met behulp van een excentrische stift, die op de glazen plaat van de meter zit en die grijpt in de vork f, kan men de veerspanning enigszins instellen en daardoor de wijzer op 0-stand zetten. De klemmen b zijn de aansluitingen van de spoel en dus van de meter.

Om aan te duiden dat een meter van het weekijzerprincipe is, wordt de schaal hiervan meestal voorzien van een kenmerk dat in fig. 10 is afgebeeld.



Symbool van een weekijzerinstrument.

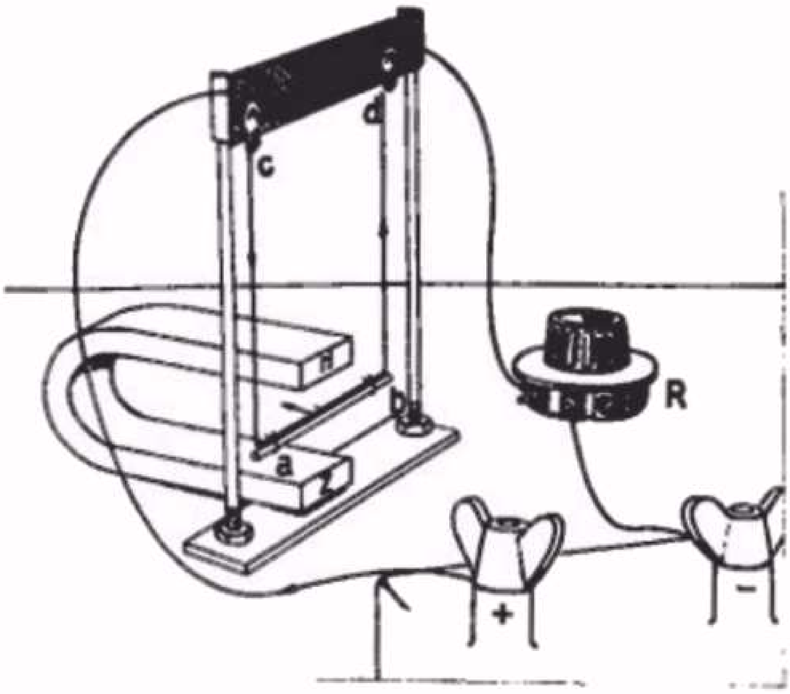
Fig. 10

23. Draaispoelmeter

a. Principe

Het principe van de draaispoelmeter berust op het verschijnsel dat op een door een electrische stroom doorlopen geleider, die in een mag-

netisch veld wordt geplaatst, een kracht wordt uitgeoefend. Wij kunnen dit met de volgende proef demonstreren (fig. 11). Wij hangen een koperen staafje ab als een schommel op. Hiervoor gebruiken we een paar soepele stroomgeleidende verbindingsdraden (ac resp. bd) die met behulp van een stel soldeerlippen op een isolatieplaatje zijn bevestigd en die tevens voor de verbinding zorgen met de stroombron. De ophanging van het staafje ab wordt zodanig uitgevoerd, dat het staafje vrij heen en weer kan schommelen tussen de polen van een hoefijzermagneet. Het staafje bevindt zich dan in een magnetisch veld waarvan de krachtlijnen van Noord naar Zuid lopen. Zodra nu een stroom door het staafje wordt gestuurd zal men, afhankelijk van de richting van de stroom, het staafje naar links of naar rechts zien bewegen. Er wordt dus blijkbaar een kracht op dit staafje uitgeoefend. Let men op de richting van de stroom die, zoals men weet, afhankelijk is van de aansluiting van de spanningsbron, dan zal men zien dat het staafje naar links beweegt als de stroom van a naar b loopt, en naar rechts uitwijkt bij een stroomrichting van b naar a. Vergroten wij de stroomsterkte, door de weerstand R kleiner te maken, (men gebruike voor deze proef een variabele weerstand) dan zien wij het staafje een grotere uitwijking maken. Wij constateren dus 3 verschijnselen:



Opstelling voor het demonstreren van de kracht die op een stroom voerende geleider wordt uitgeoefend, die zich in een magnetisch veld bevindt.

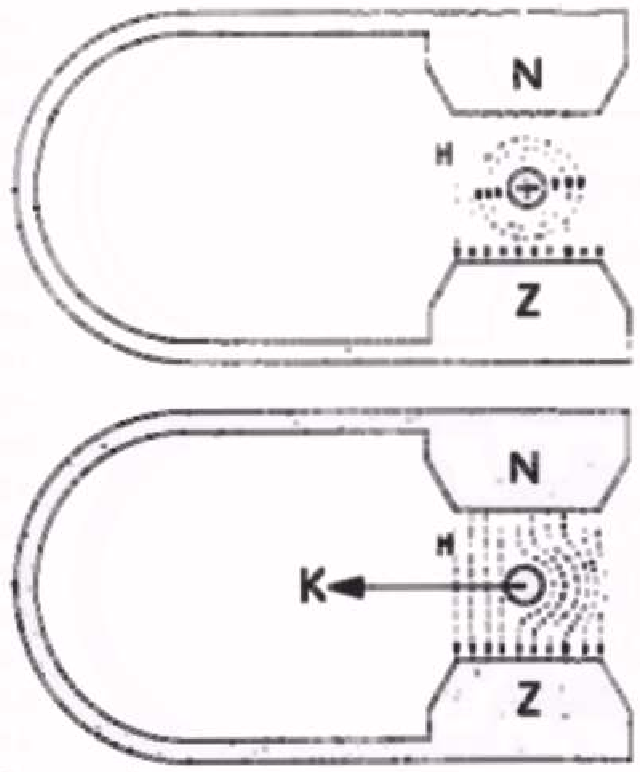
ab = koperen staafje dat via de stroom geleidende verbindingsdraden ac en bd en de regelbare weerstand R met een accu is verbonden. In de getekende richting van de stroom krijgt het staafje een uitwijking naar links.

Fig. 11

1. Een stroom door het staafje dat zich in een magnetisch veld bevindt, veroorzaakt een uitwijking van het staafje.
2. De richting van de uitwijking is afhankelijk van de richting van de stroom door het staafje.
3. De grootte van de uitwijking van het staafje is afhankelijk van de grootte van de stroom door het staafje.

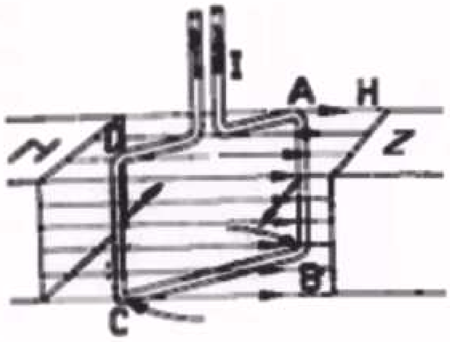
De verklaring van deze verschijnselen kan men aan de hand van fig. 12 gemakkelijk inzien. Het magnetisch veld van de hoefijzermagneet wordt voorgesteld door de krachtlijnen H, de kleine cirkel stelt de doorsnede voor van de geleider (staafje ab in fig. 11) waardoor een stroom van ons afvloeit. Zoals we uit de vorige les hebben gezien, verlopen de krachtlijnen van het door de stroom opgewekte magnetisch

veld als cirkels om het staafje. Rechts van het staafje lopen de krachtlijnen in dezelfde richting als die van het veld H en links in tegengestelde richting. Dit heeft tot gevolg dat rechts van het staafje een verdichting van het krachtlijnenveld, dus een versterking van het veld ontstaat; links van het staafje treedt daarentegen een verdunning of wel een verzwakking van het veld op. Er ontstaat dus als het ware een magnetisch drukverschil, waardoor het staafje naar links wordt gedrongen. Naar mate de stroom door het staafje sterker is, neemt de magnetische veldsterkte om het staafje toe en zal het magnetische drukverschil groter worden, dus eveneens de kracht die op het staafje wordt uitgeoefend.



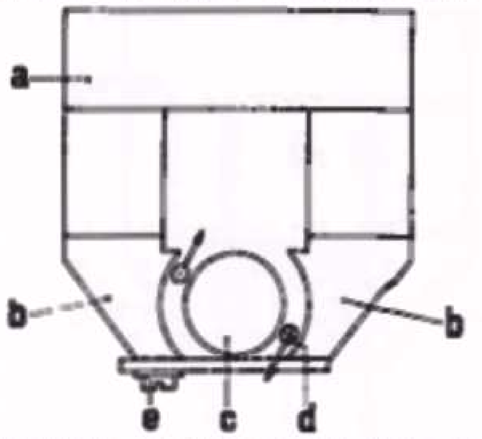
Principiële voorstelling van het magnetische veld waarin zich een stroomvoerende geleider bevindt en waarbij op de geleider een kracht K wordt uitgeoefend.
Fig. 12

Na deze kracht, die bekend is onder de naam Lorentz-kracht, verklaard te hebben, komen we thans op de toepassing van het principe bij de draaispoelmeter. In plaats van een staafje gebruikt men nu een rechthoekig draadraampje, waardoor de electrische stroom wordt gevoerd (fig. 13).
De zijden AB en CD van het raampje worden weer omgeven door een magnetisch veld, waarvan de richting afhankelijk is van de richting van de stroom. In AB vloeit deze stroom van A naar B, in CD echter van C naar D, zodat de krachtlijnen rond om AB en CD ten opzichte van het krachtenveld H van de magneet juist tegengesteld liggen. Het gevolg is, dat op AB een kracht wordt uitgeoefend die naar ons toe gericht is en op CD een kracht werkt die van ons af gericht is. Het raampje zal dus onder invloed van deze krachten om haar lengte-as gaan draaien.



Principe van een draaispoelmeter. Zodra een stroom I door het raampje ABCD vloeit, zal het raampje onder invloed van het magnetische veld waarin het zich bevindt om zijn as gaan draaien.
Fig. 13

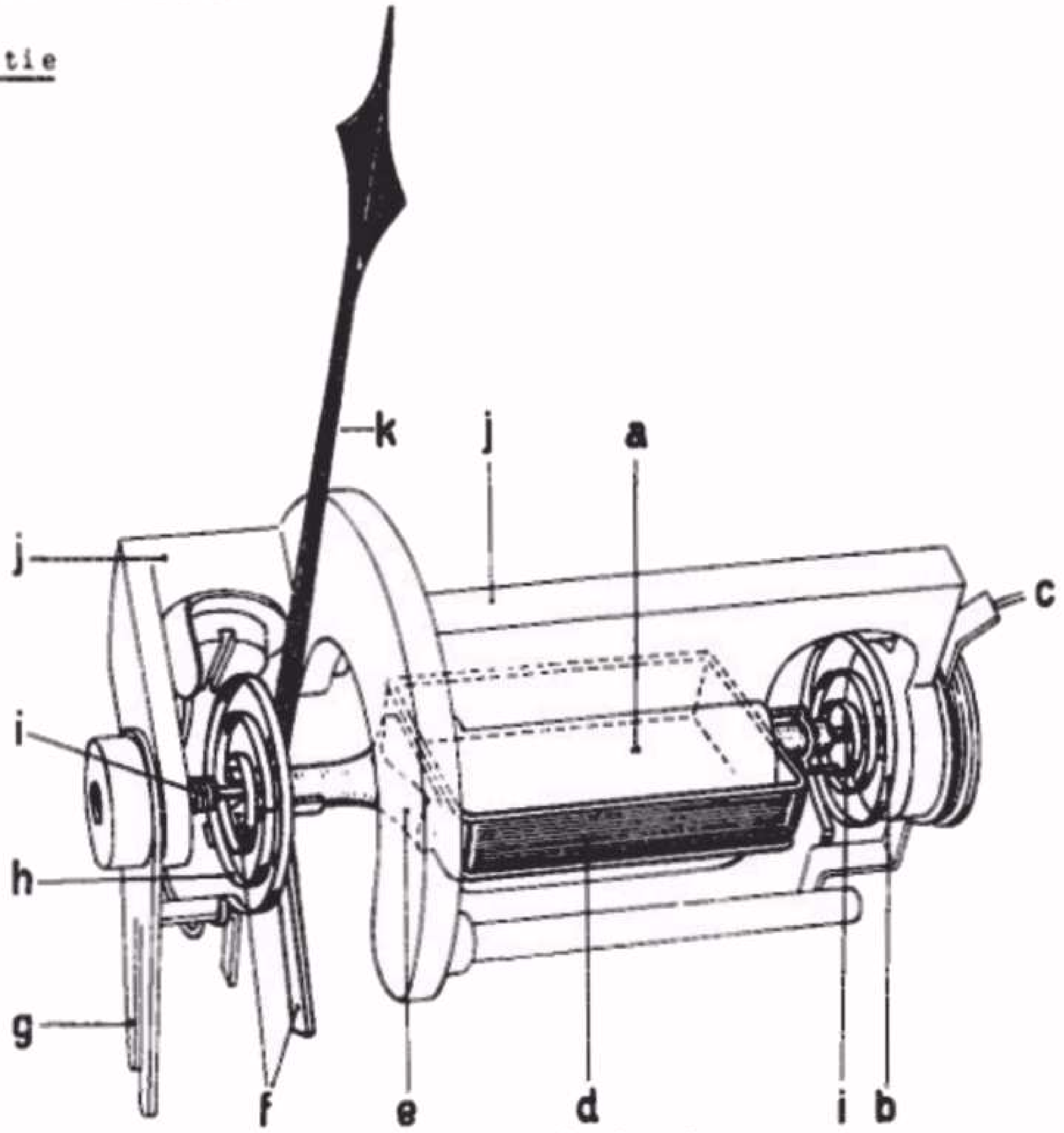
Fig. 14 geeft reeds een practischer beeld van het draaispoelsysteem. De magneet bestaat daarbij uit de permanente magneet a; Aan de pooleinden zijn 2 cilindervormig uitgeholde weekijzeren schoenen b aangebracht, waartussen een eveneens cilindervormig weekijzeren kernblok c met een kleinere diameter is geplaatst. Op deze wijze ontstaat tussen de poolschoenen en het kernblok een luchtspleet, waarin een gelijkmatig (homogeen) magneetveld aanwezig is. In deze luchtspleet brengt men nu een draadraampje d (of draaispoeltje - vandaar de naam draaispoelmeter) aan, dat meestal uit verscheidene wikkelingen be-



Doorsnede van een magneetsysteem van een draaispoelmeter met draaispoeltje.
a = permanente magneet
b = uitgeholde weekijzeren poolschoenen
c = weekijzeren kernblok
d = draaispoeltje.
Fig. 14

staat en draaibaar is opgesteld. Zodra nu een stroom door het spoeltje wordt gestuurd, zal het spoeltje gaan draaien. Aangezien wij gezien hebben, dat de kracht die op het spoeltje wordt uitgeoefend, evenredig is met de stroom door het spoeltje, is de uitwijking van het spoeltje een maat voor de grootte van de stroom. Door dus aan het spoeltje een wijzer te bevestigen, heeft men op deze wijze een aanwijsinstrument verkregen voor het meten van de stroom.

b. Constructie



Vereenvoudigde tekening van het systeem van een draaispoelinstrument.

a = weekijzeren kernblok

b = bronzen spiraalveer

c = aansluitcontact voor de stroomtoevoer

d = draaispoeltje

e = aluminium plaatje, waarmede de as met wijzer op het draaispoeltje is bevestigd

f = balanceerstaafjes van de wijzer

g = vork voor de nulpuntsinstelling

h = tweede bronzen spiraalveer

i = lagerblokje voor de puntlagering

j = gestel van het systeem

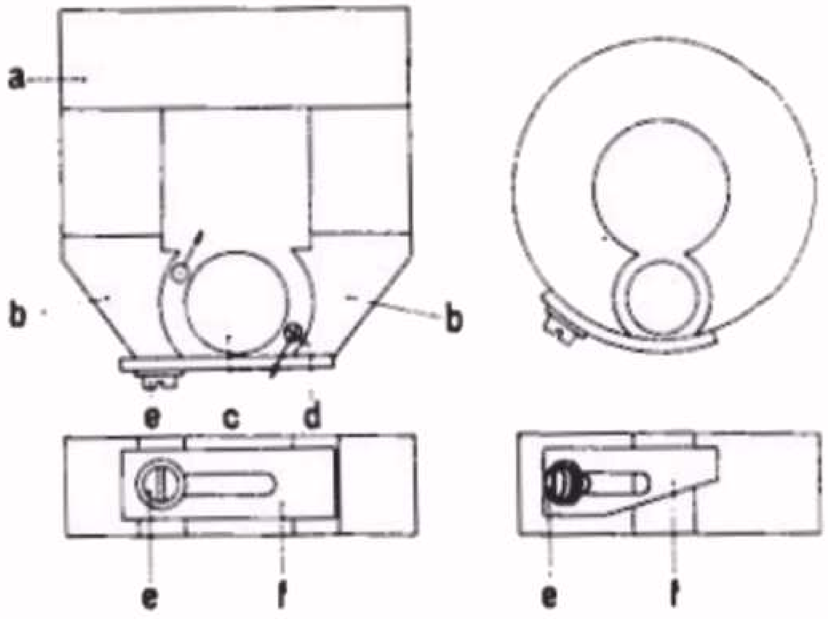
Fig. 15

k = pijlwijzer.

Fig. 15 geeft de tekening van het draaisysteem van een draaispoelmeter weer. Ter wille van de duidelijkheid van de tekening is de permanente magneet met poolschoenen weggelaten. Men ziet echter nog wel het kernblok a, bevestigd aan het juk j, waarom het raampje d (draaispoeltje) draait. De lagering van het draaispoelsysteem is, evenals dat bij de weekijzermeter is beschreven, een puntlagering (i). De as is aan beide zijden op het draaispoeltje bevestigd met behulp van aluminium plaatjes e, die eenvoudig op het platte vlak van het spoel-

tje zijn gelijmd en zodoende van het raampje met wikkeling electrisch zijn geisoleerd. Op de beide asjes zijn de bronzen spiraalveertjes b en h bevestigd, die dus voor de tegenkracht van het draaispoelsysteem zorgen. Op het asje aan de voorzijde is tevens de wijzer k, voorzien van de balanceerstaafjes f, aangebracht. De stroom wordt toegevoerd aan een van het gestel geisoleerdesteun c voor de achterste spiraal en gaat door deze spiraal naar het begin van het spoeltje. Na het spoeltje te hebben doorlopen verlaat de stroom via de spiraal aan de voorzijde ook de steun en het gestel van het instrument het systeem weer. De steun is aan de voorzijde voorzien van een vork g, bevestigd aan de voorste spiraalveer h, waarin een excentrisch pennetje grijpt. Met behulp van dit pennetje kan men de vork heen en weer draaien, waardoor de wijzer precies op het 0-punt van de schaal kan worden ingesteld.

Aangezien de aanwijzing van het instrument afhankelijk is van de sterkte van het magnetisch veld, waarin de draaispoel zich bevindt, bezit het draaispoelsysteem meestal nog een instelmogelijkheid van de magnetische veldsterkte. Dit geschiedt met een zog. magnetische shunt(fig. 16a en b.) Een dergelijke shunt (paralleltak) bestaat uit een verschuifbaar weekijzeren plaatje (f), waarmede de luchtspleet min of meer kan worden kortgesloten. Men voert hiermede nl. meer of minder krachtlijnen buiten het draaispoeltje om. Na het instellen van het plaatje f wordt dit met een schroef e vastgezet. Deze instelling van de magnetische shunt geschiedt reeds in de fabriek, zodat men er normaal niets mee te maken heeft. Tegenwoordig worden echter van vele draaispoelmeters in de Philips meetinstrumenten losse draaispoelsystemen als service onderdelen geleverd. In die gevallen zal men ook met de instelling van de magnetische shunt te maken hebben. De daartoe vereiste instelgegevens worden dan echter steeds in de betreffende Service Documentaties gegeven.



Twee doorsneden van het magneetstel van een draaispoelinstrument met magnetische shunt.

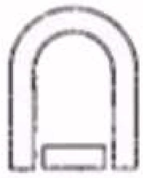
Fig. 16

Demping.

Wij hebben reeds bij de weekijzermeter gelezen waarom demping nodig is en hoe dit bij dit type meter wordt verwezenlijkt. De draaispoelmeter wordt meestal van een andere demping een zog. electromagnetische demping voorzien. Men verkrijgt deze demping automatisch als men het draaispoeltje wikkelt op een dun aluminium raampje. Bij iedere beweging van dit raampje wordt nu hier een inductiespanning en - stroom in opgewekt die een zodanig magnetisch veld veroorzaakt, dat de oorspronkelijke beweging wordt tegengewerkt. Dit berust op de wet van

Lenz die zegt: "De richting van de inductiestroom is altijd zodanig, dat hij zich verzet tegen de oorzaak waardoor hij tot stand komt." Dit is trouwens een algemene wet in de natuur, dat een systeem zich altijd tracht te verzetten tegen veranderingen die men het wil doen ondergaan. In de volgende les, par. 27, zullen wij hierop uitvoeriger terugkomen. Soms gebruikt men i.p.v. het raampje een aparte kortgesloten wikkeling als dempingswikkeling. De werking is echter hetzelfde als die van het raampje.
Aangezien de werking van deze demping onafhankelijk is van het feit of er een stroom door het draaispoeltje vloeit, zal elke beweging van het spoeltje worden gedempt; dus ook bewegingen die ontstaan tijdens transport van de meter. Daarom wordt bij vele meters aangeraden de klemmen van de meter tijdens transport kort te sluiten. Het draaispoeltje werkt nu ook als dempingswikkeling, waardoor beschadiging van het systeem door heftig heen en weer slingeren gedurende het transport wordt voorkomen.

Om het principe van draaispoelmeter aan te duiden, voorziet men de schaal veelal van een merkteken, dat in fig. 17 is afgebeeld.
Is de meter alleen geschikt voor gelijkstroom en -spanning, dan treft men dikwijls nog het teken ⎓ op de schaal aan.

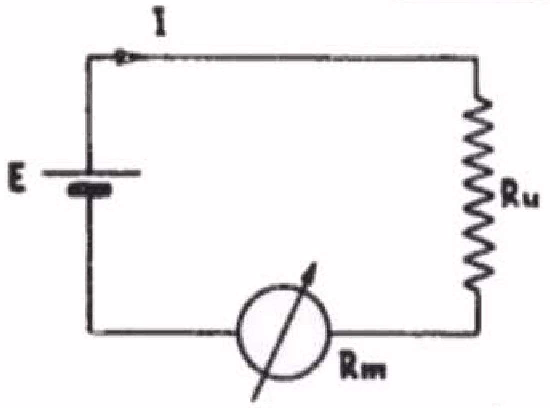


Symbool voor het voorstellen van een draaispoelinstrument.
Fig. 17

24. Het meten van stromen en spanningen

a. Het meten van stromen

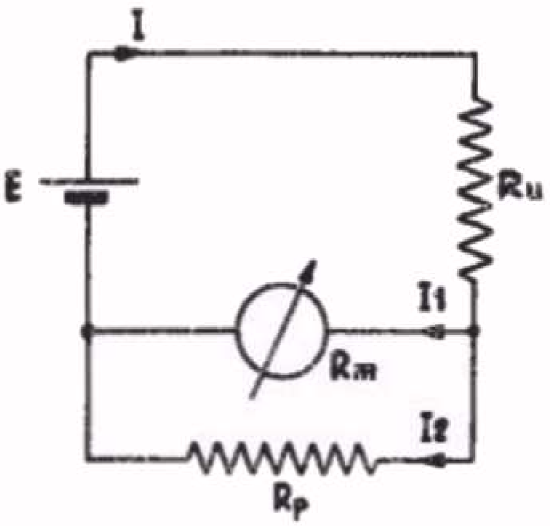
Een stroommeter, of meer genoemd een ampèremeter, (ook wel milliampèremeter) moet aangeven hoe groot de sterkte van een stroom in een bepaalde keten is. Door de meter moet dus dezelfde stroom lopen als door de verschillende weerstanden in die keten. De meter moet daarom in serie met de stroomleiding worden opgenomen.
Nu beinvloedt de meter strikt genomen de totale weerstand in de keten, dus de stroom die men wil meten. Immers zonder meter is de stroom $I = \frac{E}{Ru}$ (fig. 18).
Met de meter in de keten opgenomen wordt de stroom $I' = \frac{E}{Rm + Ru}$
(Rm = de weerstand van de meter, dus van het draaispoeltje bij een draaispoelmeter en van de vaste spoel bij een weekijzermeter).



De stroommeter (ampère of milliampèremeter) wordt steeds in de stroomketen geschakeld. Fig. 18

Men dient er dus voor te zorgen dat de meterweerstand Rm verwaarloosbaar klein is ten opzichte van de weerstand Ru in de keten.
Een draaispoelmeter kan reeds bij een vrij kleine stroom zijn volle uitslag vertonen. Afhankelijk van de constructie van het draaispoelsysteem ligt deze stroom in de orde van 1/10 mA tot tientallen mA. Men spreekt dan van een milli-ampèremeter (of mA-meter) in plaats van een ampèremeter. Wil men nu met een dergelijke meter een grotere stroom meten, dan bereikt men dit door parallel aan de meter een weerstand aan te brengen. Men noemt deze parallelweerstand een shunt. Wij willen dit aan de hand van fig. 19 illustreren.

Zoals wij in les 2, par. 12, hebben gelezen verdeelt een stroom in de keten zich over 2 parallelgeschakelde weerstanden zodanig, dat de grootste stroom door de kleinste weerstand vloeit en de kleinste stroom door de grootste weerstand gaat. In fig. 19 is de schakeling van een milliampèremeter getekend met een shuntweerstand Rp. De te meten stroom is I; door de meter met een weerstand Rm loopt een stroom I1, die maximaal gelijk mag zijn aan de stroom die nodig is, om de volledige uitslag van de meter te verkrijgen. Door de shuntweerstand Rp moet dus een stroom I2 = I - I1 afgevoerd worden. Stel, dat de draaispoelmeter zijn volledige uitslag heeft bij een stroom van 1 mA, waarbij aan de klemmen van de meter een spanning van 60 mV staat. Dit betekent dat de meterweerstand Rm gelijk is aan $\frac{0,06}{0,001}$ = 60 ohm (volgens de wet van Ohm).



Schakeling van een milliampèremeter met een shuntweerstand R_p.
Fig. 19

Als men nu een stroom wil meten van maximum 10 mA, betekent dit dat door de shunt Rp een stroom van maximum 10-1 = 9 mA moet vloeien. Aangezien over deze weerstand eveneens een spanning van 60 mV staat, zal de shuntweerstand Rp gelijk moeten zijn aan $\frac{0,06}{0,009}$ = 6 2/3 ohm. *)

Wil men een grotere stroom meten, dan zal het duidelijk zijn, dat de parallelweerstand des te kleiner wordt, naarmate de te meten stroom toeneemt. In een practische milliampèremeter heeft men hierin voorzien door de meter verschillende stroombereiken te geven, d.w.z. waarbij de volledige uitslag overeenkomt met verschillende maximale stroom-

---

*) Voor de berekening van een shuntweerstand gebruikt men veel de formule

$$R_p = \frac{R_m}{n-1}$$

waarin R_p = shuntweerstand
R_m = weerstand van de meter
$n = \frac{\text{gewenste meetbereik}}{\text{stroom voor volle uitslag van de meter}}$

In bovenstaand voorbeeld was $n = \frac{10 \text{ mA}}{1 \text{ mA}} = 10$

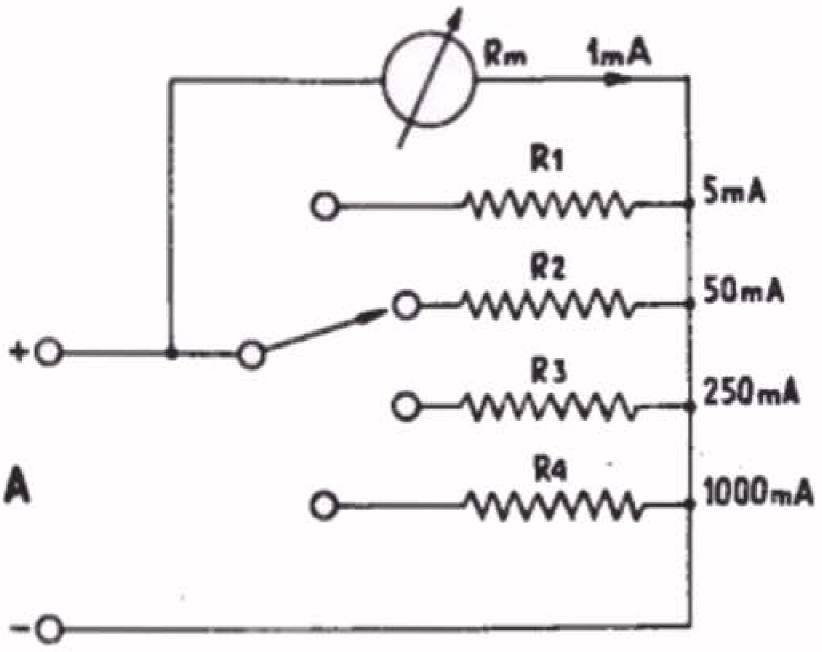
dus $R_p = \frac{60}{10-1} = \frac{60}{9} = 6\ 2/3$ Ohm.

Voor een meetbereik van 50 mA zou men krijgen:

$R_p = \frac{60}{50-1} = \frac{60}{49}$ = ca. 1,2 Ohm.

sterkten. Uit het bovenstaande blijkt, dat men dit kan bereiken door voor elk bereik een andere shuntweerstand R_p in te schakelen, en wel naar mate het stroombereik voor een grotere stroom is, een kleinere weerstand.

Tevens blijkt uit het bovenstaande dat als men van een milliampèremeter de stroomwaarde weet, waarbij de volle uitslag van de meter wordt verkregen en tevens de weerstand van het draaispoeltje, men in staat is om voor het stroombereik de daarbij behorende shuntweerstand uit te rekenen. Ter illustratie is in fig. 20 een principeschema getekend van een milliampèremeter, waarbij met behulp van een schakelaar verschillende shuntweerstanden worden ingeschakeld, afhankelijk van het gewenste stroombereik.



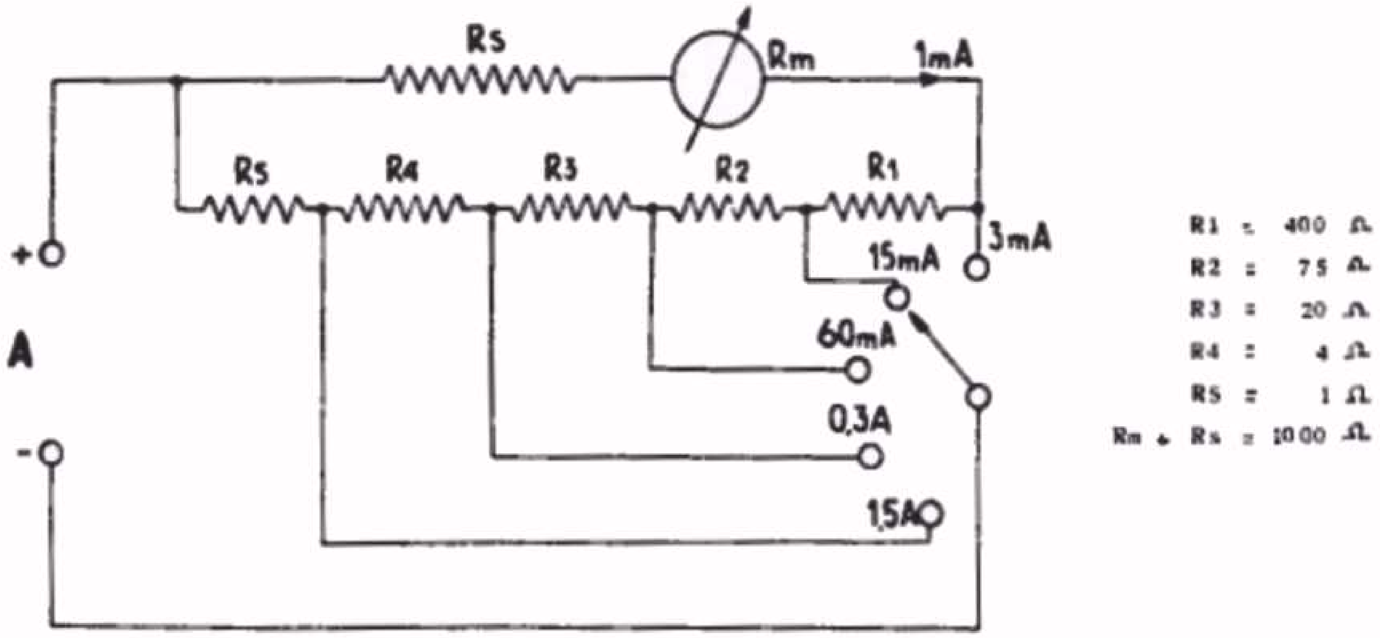
Schakeling van een milliampèremeter voor 4 verschillende stroombereiken. Deze verschillende stroombereiken worden verkregen door steeds een andere shuntweerstand in te schakelen.

Rm = 60 Ω
R1 = 15 Ω
R2 = 1,2 Ω
R3 = 0,24 Ω
R4 = 0,06 Ω

Fig. 20

Hoewel dit schema in principe bruikbaar is, kleven er twee nadelen aan:

1. Een slecht contact in de schakelaar, waarbij de contactweerstand niet meer te verwaarlozen klein is ten opzichte van de shuntweerstand, heeft tot gevolg dat de meter verkeerd aanwijst, of kan zelfs het meterspoeltje beschadigd worden.
   De schakelaar van de meter moet dus van een zodanige constructie zijn, dat onder alle omstandigheden goed contact wordt gemaakt. Verder moet de omschakeling van het ene naar het andere bereik zonder onderbreking geschieden (Het roterende contact bevindt zich dus eerst op het oorspronkelijke contact, daarna bovendien op het volgende en tenslotte alleen op het volgende contact.)
   Een veel toegepaste methode berust op het gebruik van een zog. universele shunt. Fig. 21 geeft hiervan een schakelvoorbeeld. In deze schakeling wordt de meteraanwijzing niet beinvloed door de schakelaarweerstand.
2. Er treden aanwijsfouten op ten gevolge van temperatuurveranderingen. Bij een draaispoelmeter is het spoeltje gewikkeld met koper- of aluminiumdraad. Deze materialen hebben een bepaalde positieve temperatuurscoëfficiënt, waardoor de weerstand van het spoeltje toeneemt met de temperatuur (zie hiervoor les 1 par. 8). Aangezien het draaispoeltje parallel staat aan de shuntweerstand, die uit practische overwegingen van weerstandsmateriaal (manganine) gewikkeld is, die een kleine temperatuurscoëfficiënt heeft, kan deze weerstandsverandering van het spoeltje een niet te verwaarlozen



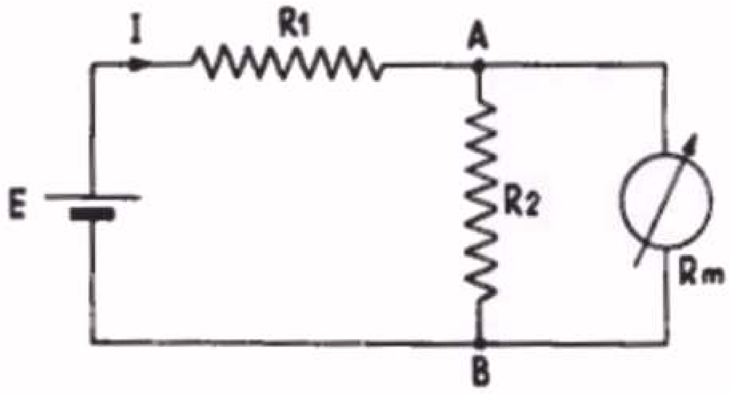
Schakelvoorbeeld van een milliampèremeter met verschillende stroombereiken, waarbij gebruik is gemaakt van een z.g.n. universele shunt.

Fig. 21

aanwijsfout tot gevolg hebben. In verband hiermede schakelt men in serie met het spoeltje een weerstand (van manganinedraad), die veel groter is dan die van het spoeltje (zie de schema's in fig. 21 en 25). Hierdoor komt de weerstandsverandering van het spoeltje veel minder tot uiting.

b. Het meten van spanningen

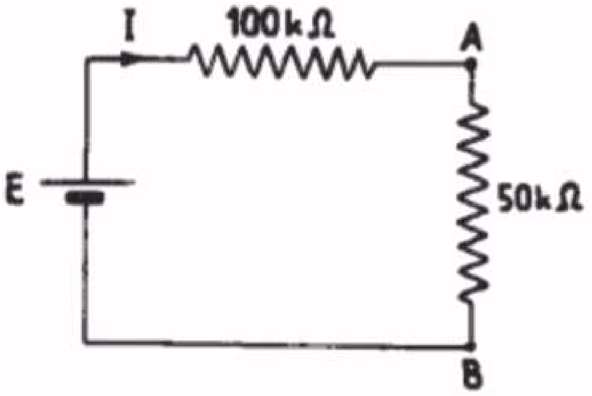
Als men een spanning over een bepaalde weerstand wil meten of van een bepaalde spanningsbron, ligt het voor de hand dat hiertoe de meter aan de punten wordt aangesloten waaraan de spanning ligt. Dus in het geval van een spanning over een weerstand wordt de meter parallel aan de weerstand aangesloten en in geval van een spanningsbron aan de klemmen van deze bron. Aangezien men de spanning in Volt uitdrukt, wordt een spanningsmeter een voltmeter genoemd. Bekijkt men nu het schema in fig. 22 dan ziet men direct uit het feit dat de voltmeter parallel aan de weerstand staat, waarover men de spanning wil meten, dat de voltmeter een zeer hoge weerstand moet bezitten om de totale weerstand niet te beinvloeden. Immers wordt de spanning over deze weerstand (R2) bepaald door de stroom in de keten (I) x de weerstand tussen de punten A en B. Door het parallelschakelen aan R2 van de meter met een weerstand Rm, verandert de weerstand tussen de punten A en B, en dus ook de spanning. Als men er nu voor zorgt dat de meterweerstand Rm groot is ten opzichte van die van R2, dan zal de invloed van de meter meestal kunnen worden verwaarloosd. Zodra dit niet meer het geval is, zal men een spanning op de meter aflezen, die sterk afwijkt van de werkelijke



Schakeling van een spanningsmeter (voltmeter).

Fig. 22

spanning zonder aangesloten meter. Laten wij dit met een getallenvoorbeeld illustreren: Op een spanning van 250 V zijn twee weerstanden van 0,1 Meg/ohm = 100 000 Ohm in serie aangesloten. De spanning zal zich gelijk over de weerstanden verdelen, zodat op R2 een spanning van 125 V zal komen te staan. Nu wil men deze spanning met een voltmeter, die een weerstand van 100 000 Ohm bezit, meten. Daartoe schakelt men de voltmeter parallel aan de weerstand R2, maar ziet, de totale weerstand tussen de punten A en B wordt nu 50 000 Ohm in plaats van de oorspronkelijke 100 000 Ohm. Het vervangingsschema voor fig. 22 wordt nu dus fig. 23.



Vervangingsschema van fig. 22

Fig. 23

De spanningsverhouding over de weerstanden R1 en R2 is nu 2 : 1, zodat over de klemmen AB een spanning van 1/3 x 250 V = 83 1/3 V zal worden gemeten. U ziet dat dit een aanmerkelijk verschil is met de werkelijke spanning van 125 V.

Hoe komen wij nu aan een voltmeter met zo'n hoge weerstand, zult U zich wellicht afvragen, want de tot nu toe behandelde meters hadden juist een zeer lage weerstand.

In § 24 a kwam een voorbeeld van een draaispoelmeter ter sprake, die een volledige uitslag gaf bij een stroom van 1 mA en die een weerstand had van 60 Ohm. Dit kwam hierop neer dat de volledige uitslag werd bereikt bij een spanning van 60 mV (een waarde die voor vele draaispoelmeters geldt).

Wil men nu met een dergelijke meter een spanning van max. 1 V meten, dan kan men dit doen door in serie met het spoeltje van de meter een weerstand te schakelen, die het teveel aan spanning, d.i. 1 V - 0,06 V = 0,94 V, opneemt. Aangezien bij deze uitslag de stroom door de meter, en dus ook door de serieweerstand 1 mA bedraagt, moet deze weerstand, volgens de wet van Ohm, zijn:

$$R_s = \frac{0,94}{\frac{1}{1000}} = 940 \text{ Ohm}$$

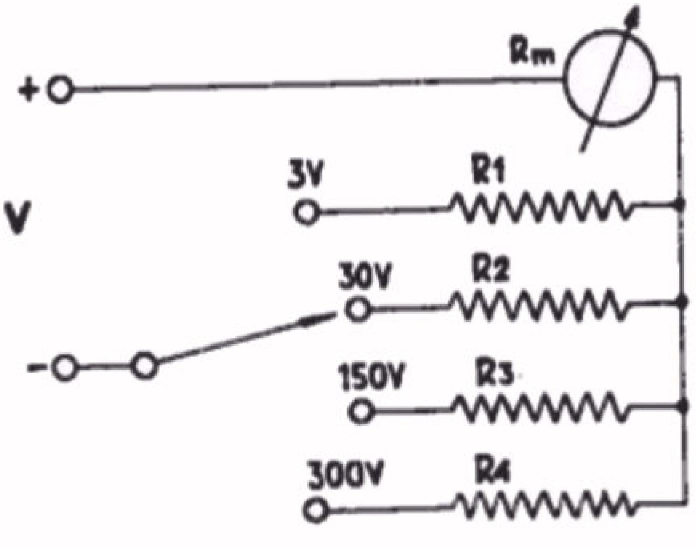
Voor een max. spanningsbereik van 100 V zou deze weerstand moeten worden:

$$R_s = \frac{100 - 0,06}{\frac{1}{1000}} = \frac{99,94}{\frac{1}{1000}} = 99940 \text{ Ohm.}$$

Op deze wijze kan men dus met een draaispoelmeter iedere gewenste spanning meten, indien men voor elk spanningsbereik de juiste serieweerstand inschakelt. **) Zie volg. bladz.

Zo geeft fig. 24 een principeschema van een voltmeter weer, die voor vier verschillende spanningsbereiken geschikt is. De serieweerstanden zijn nu gebaseerd op het gebruik van een draaispoelmeter van 60 mV-600 Ohm; dus waarbij de volledige uitslag bij een stroom van

$\frac{0,06}{600} = \frac{1}{10000}$ A = 0,1 mA wordt verkregen.



Schema van een voltmeter met 4 verschillende bereiken. Deze bereiken zijn verkregen door verschillende weerstanden in serie met de meter te schakelen.

Rm =	600 Ω			
R1 =	29.400 Ω =		29,4	k Ω
R2 =	299.400 Ω =	ca.	0,3	M Ω
R3 =	1499.400 Ω =	ca.	1,5	M Ω
R4 =	2999.400 Ω =	ca.	3	M Ω

Fig. 24

In het voorgaande kwamen wij tot de conclusie dat de voltmeter des te beter is, naarmate hij een grotere weerstand bezit. Dit is echter voor een goede meting niet de enige eigenschap die de voltmeter moet bezitten. Het hangt er nl. van af bij welk bereik de meter die hoge weerstand heeft, of eigenlijk, welke stroom door de meter moet lopen om volledige uitslag te verkrijgen. Men drukt dit uit in het aantal ohm per volt. Hiermede legt men automatisch het stroomverbruik van de meter vast, want 1000 Ohm/V komt overeen met een stroom van

$\frac{1}{1000}$ A = 1 mA, en 500 ohm/V met $\frac{1}{500}$ A = $\frac{1000}{500}$ = 2 mA, enz.

Men kan dus zeggen dat:

$$I \text{ (mA) voor volle uitslag} = \frac{1000}{\text{aantal ohm per V.}}$$

De meter in bovenstaand voorbeeld (60 mV - 600 ohm) was dus een 10 000 ohm/V meter. Nu wordt de uitdrukking "ohm per Volt" (Ω/V) wel eens verkeerd opgevat, nl. alsof een meter met b.v. 500 ohm/V, een weerstand van 500 Ohm zou hebben als hij 1 V uitslaat, en 1000 ohm als hij 2 V aangeeft, enz.

**) Voor de berekening van een serieweerstand gebruikt men veel de formule

$$R_s = (n - 1)\ R_m,$$

waarin R_s = serieweerstand

R_m = weerstand van de meter

$$n = \frac{\text{gewenste meetbereik}}{\text{spanning voor volle uitslag van de meter}}$$

In bovenstaand voorbeeld was:

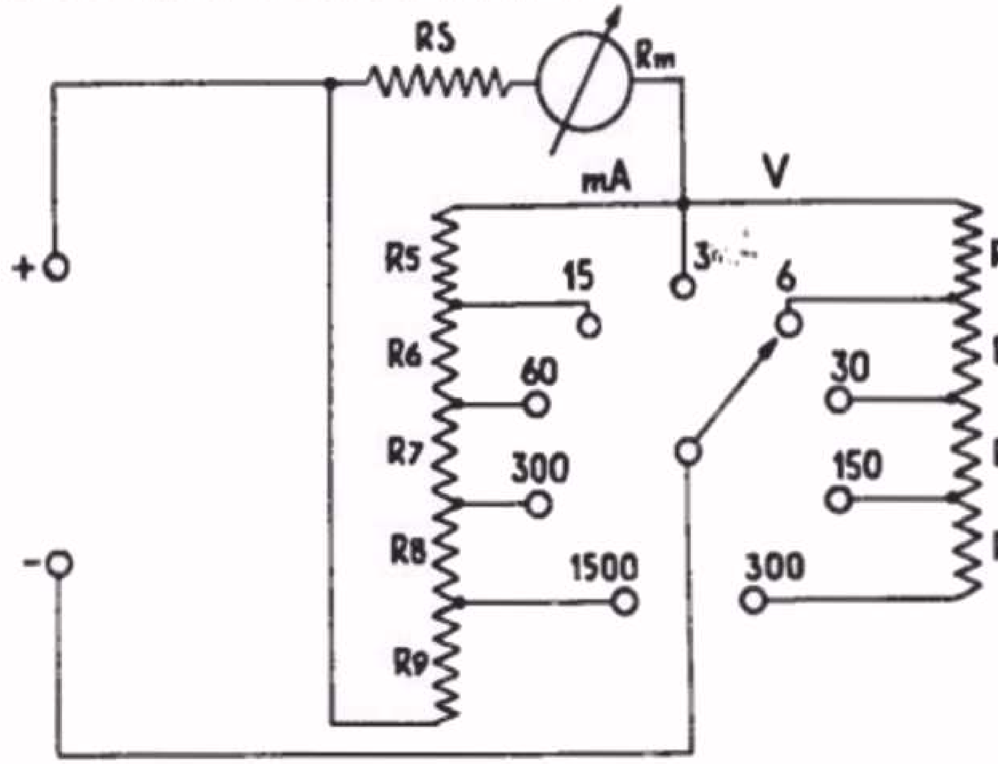
$$n = \frac{1\ \text{V}}{0,06\ \text{V}} = \frac{100}{6} = 16,67$$

dus R_s = (16,67 - 1) 60 = 15,67 x 60 = 940 Ohm.

Dit is natuurlijk onjuist. De weerstand geldt voor het gehele meetbereik; dus voor een 500 ohm/V meter met een meetbereik van 10 V, is de totale meterweerstand 10 x 500 = 5000 ohm, onverschillig of de meter 1 V aanwijst of 2 V of 3 V. Refererend aan het getallenvoorbeeld op blz. 14 kan men uit het voorgaande concluderen, dat naarmate een meter een groter aantal ohm/V heeft, de aanwijzing meer met de werkelijkheid overeenkomt.

c. Gecombineerde spannings- en stroommeter

Het ligt voor de hand dat men de meters voor de praktijk zowel geschikt maakt voor spannings- als voor stroommetingen. Daarbij zorgt veelal een schakelaar voor het inschakelen van de juiste serie- of parallel weerstanden. Fig. 25 geeft een schakeling van een dergelijke meter met 5 stroombereiken en 5 spanningsbereiken. De weerstand Rx zorgt voor het minder afhankelijk maken van temperatuursveranderingen, zoals in §24 a werd uiteengezet.



Rm = Ra	=	600 Ω
R1	=	50000 Ω
R2	=	40085 Ω
R3	=	8000 Ω
R4	=	1915 Ω
R5	=	80 Ω
R6	=	15 Ω
R7	=	4 Ω
R8	=	0,8 Ω
R9	=	0,2 Ω

Schakeling van een gecombineerde stroom- en spanningsmeter. D.m.v. een schakelaar worden de diverse weerstanden in serie of parallel geschakeld aan de meter. In serie met de meter is nog een extra weerstand opgenomen om de werking van de meter minder afhankelijk te maken van de invloed van temperatuursveranderingen.

Fig. 25

d. Meting van de meterweerstand

Het is voor het berekenen van shunt- en serieweerstanden nodig dat men de meterweerstand weet. Helaas wordt deze weerstand meestal niet op de meter vermeld. Men kan deze weerstand echter vrij eenvoudig bepalen.

Men sluit de enkele meter via een variabele weerstand op een spanningsbron aan. De grootte van de variabele weerstand is afhankelijk van de spanning en van de stroom die nodig is om volle uitslag van de meter te verkrijgen. Men stelt de weerstand zodanig in, dat de wijzer op maximum uitslaat. Nu schakelt men parallel aan de meter een tweede variabele weerstand en stelt deze zo in, dat de meter de halve stroomsterkte aanwijst. De meterweerstand is dan gelijk aan de parallelgeschakelde weerstand die men bijv. met behulp van een meetbrug (Philoscoop) kan bepalen.

SAMENVATTING

1. Het meten van de stroomsterkte kan o.a. geschieden met een weekijzermeter en met een draaispoelmeter.
2. Bij de weekijzermeter wordt de stroom gevoerd door een vaste spoel, waarin zich 2 weekijzeren plaatjes bevinden die in dezelfde richting worden gemagnetiseerd. Daardoor ontstaat er een afstotende kracht tussen de plaatjes. Door één plaatje draaibaar uit te voeren en hieraan een wijzer te verbinden, heeft men een afleesmogelijkheid voor de sterkte van de stroom.
3. In principe heeft de weekijzermeter een kwadratische schaal. Door de plaatjes een speciale vorm te geven, kan deze kwadratische schaal meer of minder worden gelineariseerd.
4. Ter vermijding van het slingeren van de wijzer is de weekijzermeter meestal voorzien van luchtdemping.
5. De draaispoelmeter berust op het verschijnsel dat op een door een electrische stroom doorlopen geleider, die in een magnetisch veld wordt geplaatst, een kracht wordt uitgeoefend. De grootte van deze kracht is evenredig met de stroomsterkte en met de sterkte van het magnetisch veld.
6. Voor deze geleider wordt in een draaispoelmeter een draaispoeltje gebruikt. Dit draaispoeltje beweegt in een cirkelvormige evenwijdige luchtspleet van de permanente magneet.
7. De draaispoelmeter heeft een lineaire schaalverdeling.
8. De demping bij een draaispoelmeter is meestal een electromagnetische demping.
9. Een stroommeter wordt meer genoemd een ampèremeter of milliampèremeter. De ampèremeter wordt geschakeld in serie met de stroomleiding.
10. De verschillende stroombereiken van de meter worden verkregen door het parallelschakelen van weerstanden aan de meter (shunts).
11. Een spanningsmeter noemt men een voltmeter. De voltmeter wordt steeds parallel aan de te meten spanning aangesloten.
12. De voltmeter moet dientengevolge een zo groot mogelijke weerstand bezitten. De verschillende spanningsbereiken worden verkregen door weerstanden in serie met de meter te schakelen.
13. De "kwaliteit" van een voltmeter wordt aangeduid in ohm per Volt (Ω/V). Deze aanduiding is een middel om de stroom bij volle uitslag te kunnen aangeven. Deze stroom in mA wordt gevonden door 1000 te delen door het aantal Ω/V.
14. Men onderscheidt verschillende wijzertypen:

    a. De pijlwijzer.
    b. De meswijzer.
    c. De draadwijzer.

15. De mes- en de draadwijzer worden dikwijls gebruikt in combinatie met een schaal met spiegelaflezing, waarbij de juiste aflezing wordt verkregen als de wijzer zijn spiegelbeeld bedekt.

VRAGEN EN VRAAGSTUKKEN

1. Een mA-meter met meetbereik van 0 - 1 mA moet geschikt worden gemaakt voor de bereiken van 5 mA en 50 mA. De weerstand van het draaispoeltje is 5 ohm. Bereken de waarde van de shuntweerstanden.

2. Het meetbereik van een voltmeter loopt van 0 - 120 V. Dit bereik moet worden vergroot tot 480 V. Als de totale weerstand van de voltmeter met het bereik van 120 V 360.000 ohm is, bereken dan de vereiste serieweerstand.

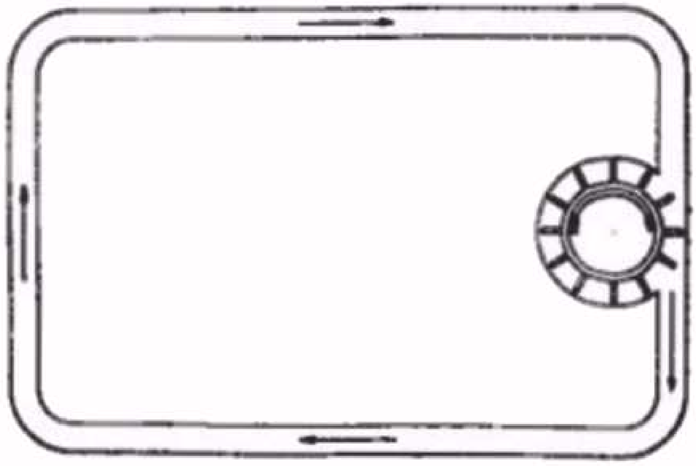
3. Een mA-meter van 0 - 20 mA heeft een shuntweerstand van $\frac{20}{9999}$ ohm. De weerstand van het draaispoeltje is 20 ohm. Tot welke stroomsterkte kan men met deze shunt meten.

4. Ga in het schema van fig. 25 na hoe de stroom loopt in de bereiken van 3 mA en van 300 V.

5. Men moet een spanning meten, waarvan de waarde niet bekend is. Waarom verdient het aanbeveling de voltmeter eerst in zijn hoogste bereik te plaatsen en daarna eventueel naar een lager meetbereik over te schakelen, als het blijkt dat de spanning lager is?

25. Wat is wisselstroom?

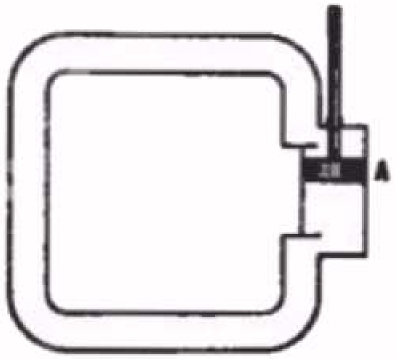
In les 3 hebben wij gezien dat een batterij, door haar stuwende kracht (EMK) op de electronen, een electrische stroom door een geleider kan stuwen. Zij treedt dan als stroombron op. Wij hebben dit in les 1 met een watervoorbeeld vergeleken. Fig. 1 geeft hiervan nogmaals een afbeelding. Als voortstuwende kracht wordt hierin een schoepenrad gebruikt, dat rechtsom draaiend het water naar beneden stuwt. De uitgeoefende druk plant zich in het gehele buizenstelsel voort, zodat er een water-stroom zal ontstaan die rechtsom loopt. De druk is noodzakelijk om de wrijvingsweerstand in het buizenstelsel te overwinnen. Het schoepenrad vervult hier dezelfde functie als de electromotorische kracht (EMK) van de batterij voor de electrische stroom. Bij de tot nu toe beschreven voorbeelden liep de stroom steeds in één richting, waarbij wij een positieve pool en een negatieve pool onderscheidden. Een dergelijke stroom noemen we een *gelijkstroom, waarvan dus de belangrijkste eigenschap is dat de stroom steeds in dezelfde richting vloeit.*



De stuwende kracht van een batterij op de electronen kan men vergelijken met een schoepenrad, dat het water door het buizenstelsel stuwt.

Fig. 1

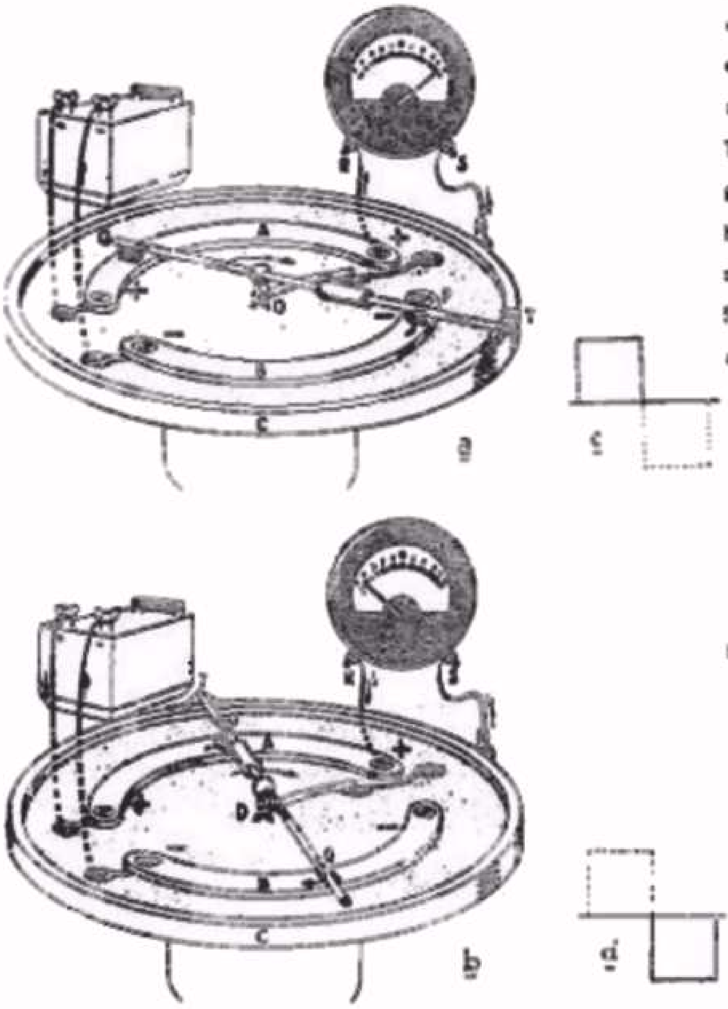
In fig. 2 is eenzelfde buizenstelsel getekend als in fig. 1, met dit onderscheidt dat het schoepenrad is vervangen door een op en neer bewegende zuiger. Wanneer de zuiger naar beneden gaat, wordt het water onder A naar beneden geperst en onder invloed hiervan verplaatst het water zich linksom door het buizenstelsel. Even later wordt de zuiger naar boven getrokken, zodat het water nu naar boven geperst wordt en in tegengestelde richting door het buizenstelsel wordt gedreven. Haalt men de zuiger regelmatig op en neer, dan zal het water in het buizenstelsel met dezelfde regelmaat heen en weer stromen; men heeft dus op deze wijze een "waterwisselstroominstallatie" geconstrueerd.



Hetzelfde kanalenstelsel, nu echter voorzien van een op- en neergaande zuiger, waardoor het water afwisselend in verschillende richtingen wordt voortbewogen (water-wisselstroominstallatie).

Fig. 2

Thans keren wij terug naar de electrische stroom. In fig. 3a en b hebben wij een schakeling getekend, die overeenkomt met de pompinstallatie in fig. 2. In deze figuur zijn de polen van de accu verbonden met twee halve koperen ringen A en B. Deze ringen zijn



Een eenvoudige opstelling voor het opwekken van een wisselstroom. A en B zijn koperen strippen en C is een koperen ring. Over deze strippen en ring beweegt zich een uit 2 delen bestaande as TQ, die met behulp van sleepcontacten een stroomgeleidende verbinding maakt met A, B en C. Door het ronddraaien van de as zal de stroom door de mA-meter beurtelings van R naar S en van S naar R lopen.

a. In deze positie van de as loopt de stroom van de + pool van de accu naar de ring A via het sleepcontact Q en het middencontact D naar het aansluitcontact R van de meter, door de meter via het aansluitcontact S over de ring C, door het sleepcontact P over de strip B terug naar de -klem van de accu.

b. In deze positie van de as loopt de stroom van de + pool van de accu via de strip A en de sleepcontacten P en T naar de aansluitklem S van de meter. Door de meter gaat de stroom verder via het contact R naar het centrale punt D via het sleepcontact Q over de strip B terug naar de -pool van de accu.

De figuren c en d geven de vorm van de wisselstroom weer voor de posities a resp. b. Fig. 3

dus als het ware de verlengstukken van de klemmen van de accu. Daarom zijn in de tekening de + en - pool getekend op deze koperen ringen.

Om deze ringen bevindt zich een andere koperen ring C. Over deze ringen draait een metalen as TQ om het punt D. Deze as bestaat uit 2 van elkander geïsoleerde delen.

Het stuk DQ bestaat uitsluitend uit metaal, het stuk DT bestaat daarentegen uit een deel van isolerend materiaal en twee delen (de uiteinden) van goed geleidend metaal. De draaiende staaf TQ is door middel van sleepcontacten verbonden met de ringen A, B en C. De ring C en het middencontact D zijn verbonden met de aansluitklemmen van een draaispoelmeter, waarvan de 0-stand in het midden van de schaal ligt. Wat zal er nu gebeuren in de getekende stand in fig. 3a? Hierin gaat de stroom van de + pool van de accu naar de ring A, via het sleepcontact Q en het middencontact D naar de aansluitklem R van de meter. De stroom doorloopt de meter en doet de naald naar rechts uitslaan. Van de aansluitklem S van de meter gaat de stroom via de sleepcontacten T en P over de ring B naar de - pool van de accu. In de figuur is de stroomrichting met een pijl aangegeven.

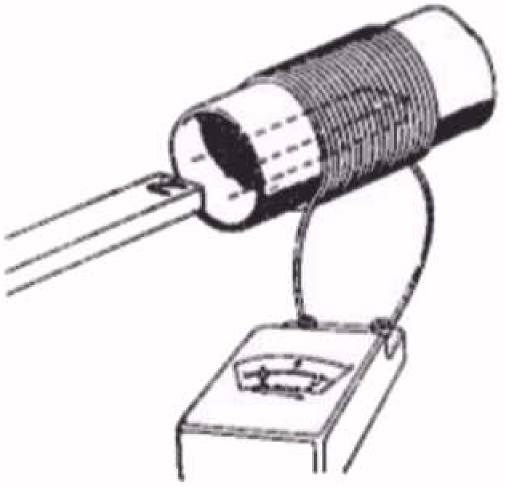
Wij draaien nu de as TQ rechtsom in de positie van fig. 3b. Nu blijkt de stroom van de + pool over de ring A en via de sleepcontacten P en T naar de aansluitklem S te gaan. Vervolgens door de meter via de aansluitklem R naar het middencontact D en via het sleepcontact Q over ring B naar de - klem van de accu. Uit de tekening ziet U reeds dat de stroom door de meter een richting heeft die tegengesteld is aan die van de eerste keer (fig. 3a). De meter

slaat dan ook in het geval van fig. 3b naar links uit. Wij komen dus tot de conclusie dat door het draaien van de as TQ de stroom door de meter de ene keer naar rechts loopt, de andere keer naar links; zij wisselt dus van richting. Men noemt een dergelijke stroom een wisselstroom.
De kenmerkende eigenschap van een wisselstroom is dat hij voortdurend van richting verandert. In fig. 3c en d is een beeld gegeven van de vorm van deze wisselstroom.

Wanneer wij de as TQ sneller ronddraaien, zullen wij zien dat de naald van de meter steeds van stand verandert. Blijven wij het tempo van het ronddraaien steeds opvoeren, dan zal men echter op een bepaald moment de naald practisch niet meer uit zien slaan of slechts om de O-stand heen en weer zien schommelen. De naald kan dan blijkbaar het tempo van het aantal wisselingen niet meer volgen.

26. Inductiespanning en inductiestroom

In les 5 hebben wij het begrip inductiestroom reeds even aangeroerd bij de behandeling van de magnetische demping bij de draaispoelmeter. Wij zullen dit verschijnsel thans nader onder de loupe nemen. Wij nemen hiervoor een spoel, die wij aansluiten op een voltmeter waarvan de O-stand in het midden van de schaal ligt (draaispoelmeter, zie fig. 4). Daar geen stroombron is aangesloten, ligt het voor de hand dat de meter niet uitslaat.



Als men een magneetstaaf in of uit een spoel beweegt, ontstaat in deze spoel een inductie-spanning, die op de meter kan worden afgelezen.

Fig. 4

a. Wij nemen nu een staafmagneet in de hand en steken deze snel in de spoel. De naald van de meter slaat nu even naar rechts uit en zijn maximale uitslag is bijv. 2 V. Zodra wij de magneet stilhouden, keert de naald onmiddellijk in zijn evenwicht (O-stand) terug. Hieruit kunnen wij constateren dat op het moment van de meteruitslag een stroompje in de keten heeft gevloeid. Verwijderen wij nu de magneet uit de spoel met dezelfde snelheid waarmede wij haar in de spoel staken, dan slaat de naald even naar links uit en eveneens tot 2 V. Nadat wij de magneet in het veld van de spoel stil houden, of zodra de magneet ver genoeg verwijderd is van de spoel, keert de naald weer onmiddellijk in zijn O-stand terug. Ook nu vloeit er blijkbaar een stroompje door de meter op het moment van het uittrekken van de staafmagneet uit de spoel, echter is de richting van de stroom juist tegengesteld aan die van de eerste keer.

b. Herhalen wij deze proef, echter brengen wij de magneet sneller in de spoel, dan zien wij dat de naald van de meter evenals bij de eerste proef naar rechts uitslaat, maar nu tot bijv. 4 V. Zodra de magneet stilgehouden wordt, keert de naald weer tot zijn O-stand terug. Trekken wij de magneet met dezelfde snelheid uit de spoel,

dan zien wij dezelfde uitslag verschijnen maar nu links van de 0-stand. Zodra de magneet ver genoeg verwijderd is of stilgehouden wordt, komt de naald weer op zijn 0-stand terug. We zien dus hetzelfde gebeuren als bij de eerste proef met dit verschil dat door de grotere snelheid van de magneet de naalduitslag groter is.

c. Nemen wij deze proef nogmaals, maar met een magneet met een 2 x grotere inductie (waarvan dus het aantal krachtlijnen per cm^2 2 x groter is), en brengen wij deze magneet met dezelfde snelheid in de spoel als in geval a, dan zal de meter weer op 4 V. uitslaan.

d. Nemen wij tenslotte een andere spoel met tweemaal zoveel windingen en voeren wij met de magneet (van geval a) weer dezelfde handelingen uit, dan zien wij de meter eveneens op 4 V. uitslaan. Vatten wij nu de resultaten samen van de 4 achtereenvolgende proeven, dan komen wij tot de volgende conclusies:

1. Door het inbrengen en uittrekken van een magneet in resp. uit een spoel, wordt een EMK in de spoel geinduceerd.
2. De grootte van deze EMK is afhankelijk van de snelheid waarmede deze magneet in de spoel wordt gebracht of er uit wordt getrokken. Des te groter de snelheid is waarmede de magneet in de spoel wordt gebracht of er uit wordt getrokken, des te groter is ook de geinduceerde EMK.
3. De grootte van de geinduceerde EMK is afhankelijk van de sterkte van de magneet. Een sterkere magneet doet een grotere EMK ontstaan.
4. De grootte van de geinduceerde EMK is afhankelijk van het aantal windingen van de spoel. Bij een groter aantal windingen ontstaat een grotere EMK, bij een kleiner aantal windingen een kleinere EMK.

Om het ontstaan van deze EMK te verklaren, grijpen wij terug op les 4 waarin de magnetische inductie werd behandeld. Hierbij zagen wij dat door een magneet een ijzerstaaf gemagnetiseerd werd of met andere woorden dat de magneet de ijzerstaaf magnetisch induceerde. Op dezelfde wijze zeggen wij dat de magneet in de spoel een EMK induceert. Deze EMK noemen wij daarom de EMK van inductie en de stroom die als gevolg daarvan vloeit inductiestroom.

Zoals wij weten, bestaat er om iedere magneet een veld van magnetische krachtlijnen. Bij de voorgaande proeven bevond de spoel zich aan het begin niet in het veld van de magneet. Werd de magneet naar de spoel toebewogen, dan kwam deze laatste in het magnetisch veld van de magneet en naarmate de magneet meer in de spoel kwam, nam het aantal krachtlijnen die door de spoel gingen toe. Zodra de magneet werd stilgehouden, bleef de spoel zich weliswaar in het veld van de magneet bevinden, het aantal door de spoel omvatte krachtlijnen veranderde echter niet. Wij kunnen daaruit de conclusie trekken, dat blijkbaar een *verandering* van het aantal door de spoel omvatte krachtlijnen een EMK van inductie tot gevolg heeft, zodat de meter uitsloeg. Zodra echter geen verandering meer optreedt, heeft er geen inductie plaats zodat de meter in zijn 0-stand terugkwam. Hetzelfde werd geconstateerd met het terugtrekken van de staaf uit de spoel. Ook nu sloeg de meter uit *tijdens* het terugtrekken van de staaf, dus ook weer ten gevolge van een verandering van het aantal krachtlijnen (thans een vermindering), terwijl de wijzer

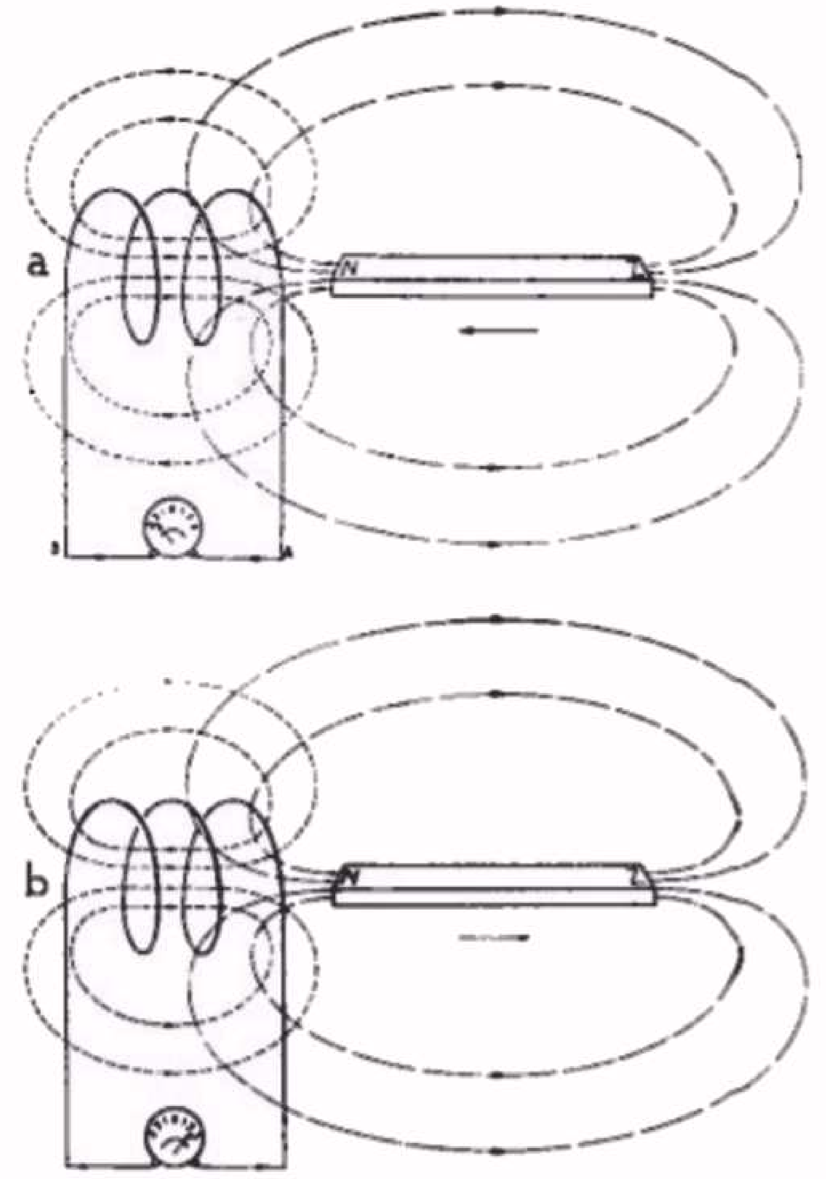
stilstond op het moment dat de staaf ver genoeg van de spoel verwijderd was of op het moment dat de staaf werd stilgehouden.

Aan de hand van deze ervaring kunnen wij de volgende algemene regel opstellen:

Wanneer het aantal door een spoel omvatte krachtlijnen verandert, zal er in deze spoel een EMK worden geinduceerd.

Wij weten nu hoe de EMK van inductie ontstaat en wij hebben eveneens geconstateerd van welke factoren de grootte van deze EMK, en dus ook van de inductiestroom, afhankelijk is. Het is echter ook gebleken dat de richting van de inductiestroom niet altijd dezelfde is.

Toen wij de magneet naar de spoel toebewogen, nam het aantal door de spoel omvatte krachtlijnen toe. Nu geldt in de natuur altijd de wet: *Actie wekt reactie op*, d.w.z. wanneer men de toestand waarin een voorwerp zich bevindt, wijzigt, zal dat voorwerp zich tegen de verandering trachten te verzetten.
Men ziet dit zeer eenvoudig geillustreerd met een veer. Als men een veer met de hand samendrukt, zal de veer zich hiertegen trachten te verzetten en een kracht ontwikkelen tegen de richting van het samendrukken in. Rekken we de veer uit, dan zal de veer proberen in zijn oorspronkelijke stand terug te komen.
Wij zien dit ook gebeuren bij de combinatie magneet + spoel. Het aantal door de spoel omvatte krachtlijnen nam toe. De spoel zal dus trachten deze toeneming tegen te werken. Dit doet de spoel door zelf een krachtlijnenveld op te bouwen dat tegengesteld is aan het veld van de magneet. Dit bepaalt dus de richting van de inductiestroom. In fig. 5a vindt U dit geillustreerd. Hierin zijn zowel de



a. Het krachtlijnenbeeld van de magneet die in een spoel gebracht wordt en van het veld van de spoel dat tengevolge van de in de spoel geinduceerde stroom ontstaat.

b. Het krachtlijnenbeeld van de magneet, die uit een spoel gehaald wordt en van het veld van de spoel, dat tengevolge van de in de spoel geinduceerde stroom ontstaat.

Fig. 5

krachtlijnen van de magneet als die behorende bij de geinduceerde stroom in de spoel getekend. Bij deze richting van de krachtlijnen hoort een inductiestroom die in de spoel van B naar A loopt. We zien hieruit dat:

1. de toeneming van het aantal door de spoel omvatte krachtlijnen de oorzaak is van het ontstaan van een inductiestroom.
2. het veld dat door deze stroom in de spoel wordt opgewekt een zodanige richting heeft, dat die het veld van de magneet, dus de oorzaak van zijn ontstaan, tegenwerkt.

In fig. 5b is het krachtlijnenbeeld getekend voor het geval dat de staaf uit de spoel getrokken wordt, dus dat het aantal door de spoel omvatte krachtlijnen afneemt.

Voor het bepalen van de richting van de inductiestroom kunnen wij nu de volgende algemene regel opstellen:

De richting van een inductiestroom is altijd zodanig dat hij zich verzet tegen de oorzaak waardoor hij tot stand komt.

Deze regel is bekend onder de naam *wet van Lenz*, die reeds in de voorgaande les paragraaf 23 bij de behandeling van de electromagnetische demping werd genoemd.

27. Zelfinductie

In de voorgaande paragraaf werd de krachtlijnenverandering in de spoel veroorzaakt door een veld buiten de spoel. Sluit men echter de spoel zelf op een stroombron aan, dan vloeit er door de spoel een electrische stroom die zoals we in les 4 hebben geleerd een magnetisch veld opwekt.
Veranderen wij nu de stroom door de spoel, dan zal ook het magnetisch veld veranderen en zal er dus een verandering van het aantal omvatte krachtlijnen plaats hebben. Nu wordt deze verandering veroorzaakt door een stroomverandering in de spoel zelf. Het ligt voor de hand dat deze verandering van het magnetisch veld eveneens een inductie-spanning en dus ook een inductiestroom, veroorzaakt. Omdat deze inductiestroom door de spoel zelf is veroorzaakt, noemt men deze stroom een zelfinductiestroom en noemt men de inductiespanning een EMK van zelfinductie. *Het spreekt vanzelf, dat de zelfinductiestroom en EMK alleen optreden gedurende de verandering van het aantal krachtlijnen tengevolge van een stroomverandering in de spoel.*

Als wij de opgewekte zelfinductiespanning en zelfinductiestroom van verschillende spoelen, maar met een zelfde stroomverandering, meten, bemerken wij dat de resultaten verschillend zijn. De EMK van zelfinductie is blijkbaar afhankelijk van de constructie van de spoel. Een spoel met veel windingen wekt bij een bepaalde stroomverandering een veel grotere inductiespanning en -stroom op, dan een spoel met weinig windingen. Verder blijken ook de afmetingen (de diameter en de lengte) van de spoel van invloed te zijn.

Een overeenkomstig verschijnsel ziet men bij een vliegwiel. Als men een vliegwiel aan de gang wil brengen, kost dit veel meer moeite en kracht dan wanneer het eenmaal loopt. Het vliegwiel verzet zich als het ware tegen een verandering van de toestand. Des te zwaarder

en des te groter het vliegwiel is, des te meer kracht moet worden gebruikt om het aan de gang te brengen. Hetzelfde ondervindt men als men het eenmaal draaiend vliegwiel wil laten stoppen. Het verzet zich ertegen en het kost ook weer kracht, die nu echter tegengesteld gericht is aan de kracht voor het op gang brengen.

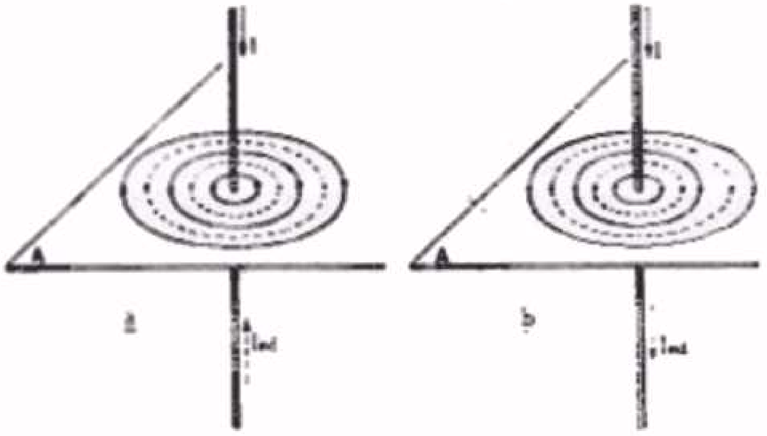
Het verschil in gedrag met betrekking tot de inductiespanning van verschillende spoelen drukt men uit in de coefficiënt van zelfinductie, waarvan de eenheid de Henry (afgekort H) is.
Een spoel bezit de eenheid van zelfinductie, indien een stroomverandering van 1 A per seconde in de spoel een inductiespanning van 1 V. opwekt.
Daar de Henry een vrij grote eenheid is, gebruikt men naast deze eenheid ook veel de millihenry (afgekort mH).

1 mH = 1/1000 H.

Een nog kleinere maat is de microhenry (afgekort µH).

1 µH = 1/1000 mH = 1/1000.000 H.

Wij willen tenslotte aan de hand van fig. 6a en b de richting van de zelfinductiestroom in een spoel bepalen. In deze figuur is slechts een klein stuk van de spoel als draad getekend. Door deze draad loopt een stroom I die regelmatig verandert. (In fig. 6a neemt de stroom toe en in fig. 6b neemt de stroom af). Het daarbij behorende magnetisch veld is voorgesteld door de getrokken krachtlijnen. Terwille van de duidelijkheid zijn alleen de krachtlijnen in het vlak A loodrecht op de draad getekend. Het aantal krachtlijnen neemt toe als de stroom I toeneemt. Volgens de wet van Lenz ontstaat er nu een inductiespanning en dientengevolge een inductiestroom, die het toenemen van het aantal krachtlijnen tegenwerkt. De krachtlijnen behorende bij de zelfinductiestroom zijn gestippeld in de figuur getekend en men ziet dat in fig. 6a deze krachtlijnen tegengesteld gericht zijn aan de oorspronkelijke krachtlijnen. De zelfinductiestroom werkt dus het toenemen van de oorspronkelijke krachtlijnen tegen. In fig. 6b ziet men daarentegen dat de krachtlijnen van de inductiestroom dezelfde richting hebben als de oorspronkelijke krachtlijnen. Zij



a. Het krachtlijnenbeeld rondom een draad, waarin de stroom toeneemt. Het bij de stroom door de spoel behorende magnetische veld is voorgesteld door de getrokken lijnen, de gestippelde lijnen stellen de krachtlijnen voor van het veld, opgewekt door de inductie-stroom.

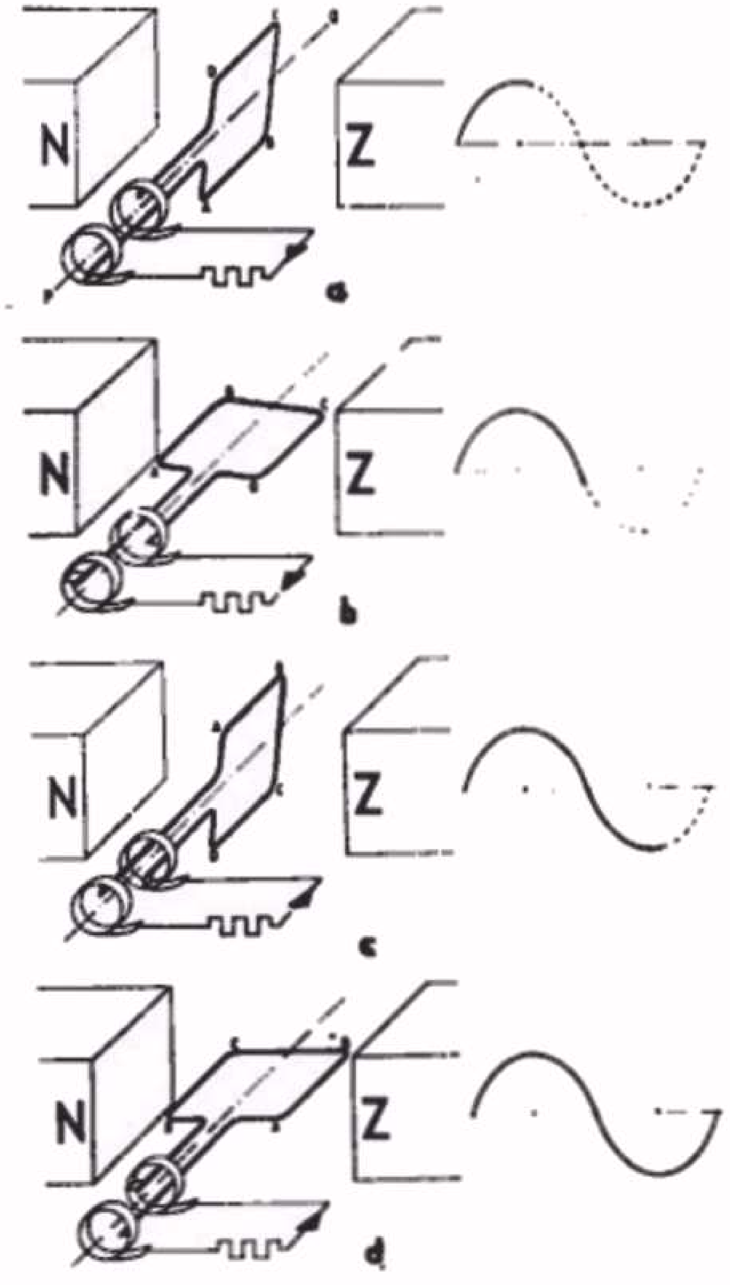
b. Overeenkomstige figuur van een afnemende stroom.

Fig. 6

versterken dus als het ware het oorspronkelijke veld, omdat de inductiestroom zich thans verzet tegen het verzwakken van het oorspronkelijke veld.

Brengt men in de spoel een ijzerkern aan, dan zal het magnetische veld van de spoel, zodra door de spoel een stroom loopt, aanzienlijk sterker worden. Dit is reeds behandeld in les 4 paragraaf 20. Een verandering van de stroom in deze spoel zal dientengevolge een veel grotere verandering van het magnetische veld tot gevolg hebben, dan het geval zou zijn in een spoel zonder ijzerkern. De spanning die door deze verandering van het magnetische veld optreedt, is dientengevolge ook veel groter. Dit komt hierop neer dat de zelfinductie van de spoel met ijzerkern veel groter is dan die van de spoel zonder ijzerkern. Dit middel wordt dan ook in de practijk veel toegepast om een grote zelfinductie te verkrijgen. Een voorbeeld hiervan is de smoorspoel voor de afvlakking in het voedingsgedeelte van een ontvangtoestel of versterker. Wij zullen nog meer voorbeelden tegenkomen in les 7, bij de behandeling van de verschillende spoelconstructies.

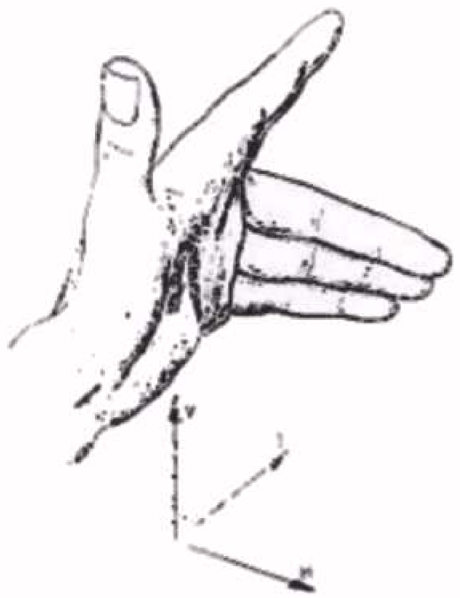
28. Opwekken van een wisselspanning



Principe van de werking van een dynamo. Tussen de polen van een magneet draait een winding met constante snelheid rond. Tengevolge van de verandering van het aantal door de winding omvatte krachtlijnen wordt in deze winding een inductie-spanning- resp. inductiestroom opgewekt, die door middel van 2 sleepringen naar buiten wordt gevoerd. De verschillende fazen van de geinduceerde sinusvormige spanning zijn naast de overeenkomstige figuren afgebeeld.

Fig. 7

Op de in de vorige paragraaf beschreven verschijnselen berust o.a. de werking van de dynamo, waarmede een wisselspanning kan worden opgewekt. Het principe van de dynamo willen wij thans aan de hand van fig. 7 verklaren.
In deze figuur zijn de poolschoenen van een magneet getekend, waartussen een draadwinding om de as PQ draait. Tussen de Noord- en Zuidpool van de magneet bestaat een homogeen veld. In fig. 7a bevindt zich de winding in een verticale stand. Nu draaien wij deze winding met een regelmatige snelheid rechtsom. In fig. 7b heeft deze winding een kwartslag gedraaid. In de verticale positie ging door deze winding een maximum aantal krachtlijnen. In de horizontale positie daarentegen gaat geen enkele krachtlijn door de winding heen. Het is duidelijk dat gedurende het draaien het aantal krachtlijnen door de winding verandert. Zoals wij reeds in de voorgaande paragraaf hebben geconstateerd, veroorzaakt een verandering van het aantal krachtlijnen in de winding een inductiespanning en -stroom. De richting van de stroom kunnen wij weer bepalen met behulp van de wet van Lenz. Men heeft hiervoor echter nog een ander eenvoudig hulpmiddel nl. de z.g. 3-vingerregel die luidt:
Plaatst men de duim, de wijsvinger en de middelvinger van de linkerhand loodrecht op elkander (zie fig. 8) en stelt de middelvinger de veldrichting tussen de magneetpolen voor, de duim de richting van de beweging van de draadwikkeling, dan geeft de wijsvinger de richting van de geinduceerde stroom in de draadwikkeling aan.



De richting van de geinduceerde stroom in de ronddwentelende wikkeling van fig. 7 kan worden bepaald met behulp van de drie-vingerregel: Plaatst men de duim, de wijsvinger en de middelvinger van de linkerhand loodrecht op elkander en stelt de middelvinger de veldrichting voor tussen de magneetpolen, de duim de bewegingsrichting van de draadwikkeling dan geeft de wijsvinger de richting van de geinduceerde stroom in de draadwikkeling aan.

Fig. 8

Passen wij deze regel toe op de faze tussen fig. 7a en b, dan zien wij dat bij de eerste kwartdraai rechtsom, de zijde AB naar links en de zijde CD naar rechts beweegt. Volgens de drievingerregel zal dan de inductiestroom in AB van A naar B lopen en in de draad CD van C naar D. Volgen wij thans de stroom in de draadwikkeling, dan zien wij dat deze zich verplaatst van C naar D, via A naar B en zich via de 2 sleepringen als overbrengingscontacten door de weerstand R in de door de pijl aangegeven richting beweegt.
Laten we de wikkeling weer een kwartslag draaien, dan komt hij weer in verticale positie te liggen. Gedurende de eerste kwartslag nam het aantal krachtlijnen af van maximum tot nul, bij de volgende kwart draai zal het aantal krachtlijnen juist toenemen van nul tot maximum (dus gedurende de overgang van figuur b naar c). Voor deze tweede kwart draai kunnen wij de richting van de inductiestroom weer

met behulp van de drievingerregel bepalen. Men zal dan bemerken, dat de richting van de stroom in de wikkeling nog gelijk is aan die van de stroom in fig. 7b. Zo kan men voor elke faze van de draaiing de richting van de stroom bepalen.
Voert men dit uit, niet alleen in de posities die in fig. 7 getekend zijn, maar bovendien voor de daartussen liggende posities, dan zal men bemerken dat de stroom regelmatig toe en afneemt en het ene moment een positieve richting, het andere moment een negatieve richting heeft. Brengt men dit in beeld (fig. 7 rechts, waarin steeds op de horizontale as de tijd is afgebeeld en op de verticale as de sterkte van de stroom), dan verkrijgt men een bepaalde golfvorm die men een sinuslijn noemt (het woord sinus betekent golf). U ziet hieruit dat een wisselstroom ontstaan is, aangezien deze stroom beurtelings van richting verandert. De geïnduceerde spanning in de wikkeling zal eveneens een dergelijke vorm hebben. Men noemt dit een sinusvormige spanning. De wisselspanning van een lichtnet heeft bijv. een dergelijke vorm. Aangezien de golfvorm van deze spanning regelmatig is (men zegt hiervoor ook wel "periodisch") noemt men een compleet heen en weer gaan van de spanning en de stroom een periode. In één periode heeft de stroom dus 2 maximale waarden, waarvan één in de positieve richting en één in de negatieve richting voorkomt.

Wij hebben uit fig. 7 gezien dat na een complete omwenteling van de wikkeling één periode is ontstaan. Als men nu de winding 10 omwentelingen per seconde laat maken, zullen er dus 10 perioden per seconde ontstaan. *Men noemt het aantal perioden per seconde de frequentie van een dergelijke wisselspanning of wisselstroom* (periode per seconde wordt dikwijls afgekort tot p/s). Men gebruikt hiervoor ook veel de term Herz (afgekort Hz), terwijl men in de Engels sprekende landen de term cycles per seconde (afgekort c/s) bezigt. Aangezien men in de techniek ook spanningen en stromen gebruikt, die een zeer hoge frequentie hebben, d.w.z. een zeer groot aantal wisselingen per seconde, heeft men naast de grootheid p/s de grootheden kiloperioden per seconde (afgekort kp/s) en megaperioden per seconde (Mp/s) ingevoerd. Voor de Herz en cycles per seconde wordt dit resp. kHz en MHz en kc/s en Mc/s.

1 kHz = 1000 Hz
1 MHz = 1000 kHz = 1000.000 Hz

De wisselspanning van het lichtnet heeft meestal een frequentie van 50 of 60 Hz. Muziek en spraak liggen in een frequentiegebied tussen ca. 20 en 16000 Hz, terwijl de radiogolven een frequentie hebben tussen ca. 100 kHz en ca. 100 MHz. De eerste groep noemt men de lage frequenties en men spreekt van laagfrequentspanningen (afkorting van laagfrequentie is LF). Als tegenstelling noemt men de tweede groep hoogfrequent en men spreekt van hoogfrequentspanningen en -stromen (afgekort HF). In de radiotechniek hebben wij uiteraard met beide groepen te maken.

29. Maximale, gemiddelde en effectieve waarde van een wisselspanning en -stroom

Daar de sterkte van een wisselstroom regelmatig varieert, is het niet mogelijk zonder meer van de waarde van een wisselstroom te

spreken. Wij hebben reeds in de voorgaande paragraaf gezien, dat de wisselstroom en -spanning varieert tussen nul en een bepaalde maximale waarde. Deze maximale waarde noemt men ook wel *amplitude*. Aangezien deze maximale waarde van weinig prachtische betekenis is, heeft men 2 andere waarden ingevoerd:

de gemiddelde waarde en de effectieve waarde

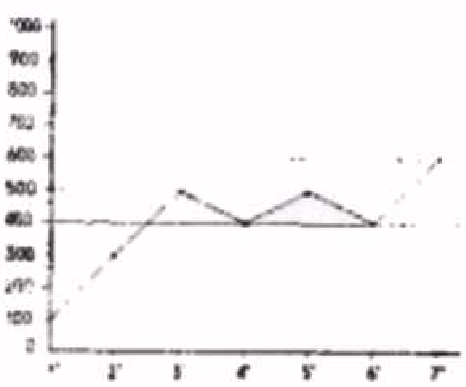
a. Gemiddelde waarde

Wij zullen het begrip gemiddelde waarde eerst aan de hand van een practisch voorbeeld illustreren.
Een autobus-onderneming vervoert arbeiders naar hun werk. Daar met goed weer veel mensen naar de fabriek fietsen, worden niet elke dag evenveel personen vervoerd. Over 1 week genomen zijn de vervoercijfers als volgt:

Zondag	worden	er	100	personen	vervoerd.
Maandag	,,	,,	300	,,	,,
Dinsdag	,,	,,	500	,,	,,
Woensdag	,,	,,	400	,,	,,
Donderdag	,,	,,	500	,,	,,
Vrijdag	,,	,,	400	,,	,,
Zaterdag	,,	,,	600	,,	,,
			2800		

In 1 week worden dus 2800 werklieden vervoerd.

Over 7 dagen gerekend worden nu per dag "gemiddeld" 400 personen vervoerd d.w.z. indien elke dag 400 personen met de autobus naar hun werk gingen, zouden per week ook totaal 2800 personen worden vervoerd. Het "gemiddelde" getal verkrijgen we dus door het optellen van bovenstaande getallen en het totaal te delen door het aantal dagen van de betreffende periode. Zetten wij deze resultaten in een grafiek uit, dan verkrijgt men fig. 9. In deze figuur ziet men bij

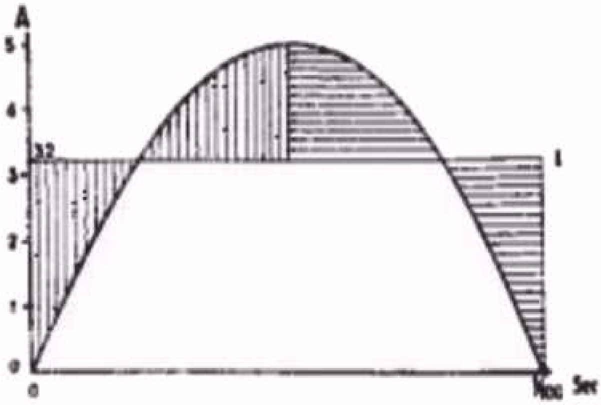


Grafische voorstelling van het vervoer van een aut-bus-onderneming. Op de verticale as is uitgezet het aantal vervoerde personen, op de horizontale as de dagen, waarop dit vervoer geschiedde. De horizontale lijn geeft het "gemiddelde" van het vervoer weer.

Fig. 9

het getal 400 op de verticale as de horizontale lijn getrokken die het gemiddelde aangeeft van het aantal vervoerde personen.
Hierna zullen we dit voor een wisselstroom bekijken, dus een stroom, waarvan de waarde steeds verandert (fig. 10). Zoals wij in de voorgaande paragraaf hebben gezien, geeft fig. 10 het verband aan van de sterkte van de stroom en het moment, waarbij deze stroom vloeit. Wij gaan bijv. uit van een wisselstroom die door een plaatselijk net wordt geleverd, dus waarvan de frequentie 50 perioden per seconde is. 1 Periode duurt dan 1/50 seconde en een halve periode 1/100

seconde. Aangezien de twee helften of fazen van een periode van een sinusvormige stroom volkomen gelijk aan elkander zijn, hebben wij in fig. 10 slechts een helft wéérgegeven. Deze helft duurt dus 1/100 seconde.
Als men nu deze helft in een groot aantal momenten verdeelt en daarbij de stroomsterkte noteert, verkrijgt men op dezelfde wijze als in het voorgaande voorbeeld, de gemiddelde waarde. Het blijkt dan dat bij een maximale waarde van 5 A de gemiddelde waarde 3,2 A bedraagt.
Als wij in fig. 10, bij de waarde van 3,2 A op de verticale as, een horizontale lijn trekken, geeft deze lijn de gemiddelde waarde van de halve sinus weer.



Een halve sinuslijn met daarin getekend de lijn, die de gemiddelde waarde voorstelt. Hiervoor geldt:

Igem = ca 0,64 Imax

Fig. 10

Men kan trouwens uit fig. 10 zien, hoe ongeveer de lijn van de gemiddelde waarde moet liggen, nl. zodanig dat de verticaal gearceerde oppervlakte van de top gelijk is aan die van de linker beneden hoek, en de horizontaal gearceerde oppervlakte van de top gelijk is aan die van de rechtse benedenhoek.

Samenvattend kunnen wij zeggen, dat *de gemiddelde waarde van een wisselstroom gelijk is aan de waarde van een denkbeeldige gelijkstroom die in dezelfde tijd dezelfde* ***hoeveelheid*** *stroom verplaatst.*
Er bestaat voor de gemiddelde waarde van een sinus-vormige stroom en -spanning een eenvoudige formule die onmiddellijk het verband uitdrukt tussen de maximale waarde en de gemiddelde waarde. Deze formule luidt:

$$I_{gemiddeld} = \frac{2}{\pi} I_{max} = \frac{2}{22/7} I_{max} = \text{ca. } 0{,}64\ I_{max}$$

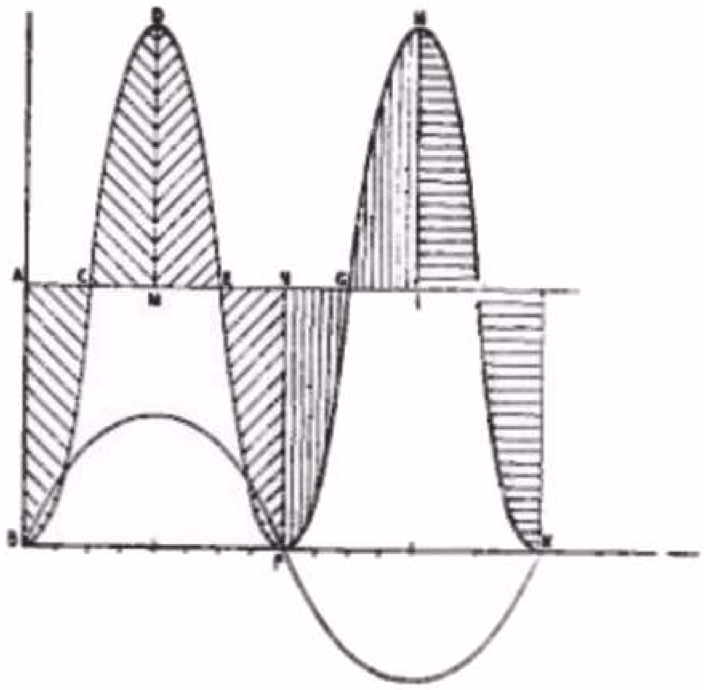
In bovenstaand voorbeeld bedroeg Imax 5 A. Met behulp van de formule Igem = 0,64 Imax rekent men nu direct uit dat Igem = 0,64 x 5 = 3,2 A.

b. Effectieve waarde

Aangezien de gemiddelde waarde van een wisselstroom alleen aangeeft *hoeveel* electriciteit wordt verplaatst, doch niet hoeveel *arbeid* door deze stroom wordt verricht, heeft men het begrip effectieve waarde ingevoerd. *Onder de effectieve waarde van een wisselstroom verstaat men de waarde van een denkbeeldige gelijkstroom, die in dezelfde tijd dezelfde hoeveelheid arbeid verricht (in andere woorden hetzelfde aantal Watts ontwikkelt).*
Nu is in les 1 verteld, dat de arbeid, die de electrische stroom per seconde ontwikkelt, het vermogen is. Dit vermogen is gelijk aan

$$I^2R = I \times I \times R \text{ Watt.}$$

Dit geldt ook voor wisselstroom, echter moeten wij ook nu weer bedenken, dat de wisselstroom regelmatig van waarde verandert. Wij kunnen nu op dezelfde wijze als voor de gemiddelde waarde is uitgevoerd moment voor moment bekijken hoe het verloop is van I^2. Dit is in fig. 11 grafisch uitgevoerd. Daarin is van een complete periode van een sinusvormige stroom het kwadraat van de stroomsterkten (= I x I) moment voor moment uitgezet. Het resultaat is dan de lijn B-C-D-E F-G-H-J-K. Deze lijn werd verkregen door de tijd, waarin zich deze periode afspeelt, in een aantal momenten te verdelen, en voor elk moment de waarde van de stroom in het kwadraat te verheffen. Men ziet dat de nieuwe golflijn eenzelfde karakter heeft als de oorspronkelijke golflijn van de wisselstroom. Trekken we nu door deze nieuwe golflijn een horizontale lijn, die op de helft ligt van de afstand van de top tot aan de horizontale lijn, dan ontstaat een symmetrische figuur, waarbij de oppervlakten A-B-C en C-D-M, de oppervlakten D-M-E en E-F-N, de oppervlakten N-F-G- en G-H-I- telkens aan elkander gelijk zijn. Hieruit volgt dat de lijn AL het gemiddelde voorstelt van de sinus-vormige lijn B-C-D-E-F-G-H-J-K, d.w.z. dat deze lijn overeenkomt met het kwadraat van een stroom met een constante sterkte, dus van een gelijkstroom, die hetzelfde effect heeft als de wisselstroom, die door de golfvormige lijn werd voorgesteld.*)



Grafische voorstelling van een sinusvormige stroom en van het kwadraat van deze stroom, voor de bepaling van de effectieve waarde.

Fig. 11

Men heeft ook voor het verband tussen de effectieve waarde en de maximale waarde van een sinusvormige wisselstroom of -spanning een eenvoudige formule. Deze luidt:

Ieff = ca. 0,7 Imax en

Imax = ca. 1,4 Ieff

(Ieffectief wordt meestal afgekort tot Ieff).

Zo geldt ook voor een wisselspanning V_{eff} = ca. 0,7 V_{max} en

V_{max} = ca. 1,4 V_{eff}.

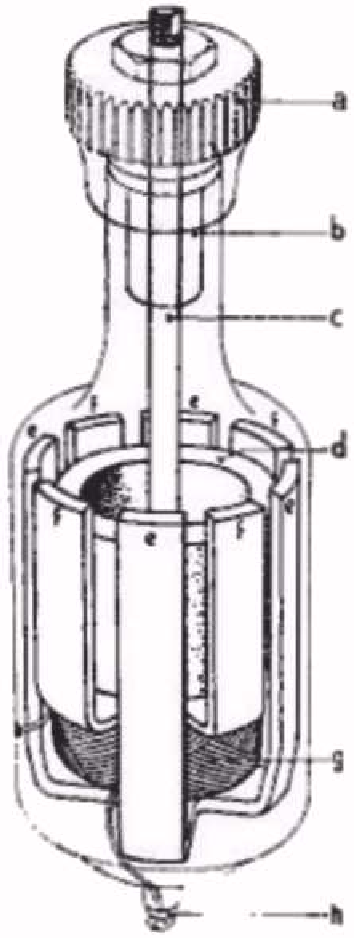
---

*) Het zal U misschien opvallen, dat de tweede helft van de periode, die negatief is ten opzichte van de eerste helft, in het kwadraat verheven een stroom oplevert, die zich weer in het positievegedeelte van de grafiek bevindt. Men dient echter in het oog te houden, dat de nieuwe sinus, die verkregen is door de oorspronkelijke waarde in het kwadraat te verheffen, maatgevend is voor de arbeid die door de electrische stroom wordt verricht. Het speelt natuurlijk geen rol of deze stroom van links naar rechts of van rechts naar links loopt, dus of deze stroom in positieve richting of in negatieve richting beweegt; in beide richtingen verricht de stroom arbeid.

In de meeste gevallen zal men practisch alleen met de effectieve waarde van een wisselstroom en -spanning werken. Als men b.v. spreekt van een wisselspanning van 220 V., dan wil dit zeggen, dat de effectieve waarde van deze wisselspanning 220 V is. Men laat in de meeste gevallen het woord effectief weg. De maximale waarde van deze wisselspanning is dus 1,4 x 220 = 308 V. Bij de behandeling van de condensator zullen wij een voorbeeld zien, waarbij we zowel met de effectieve waarde als met de maximale waarde te maken hebben.

30. De rijwiel-dynamo

Als een eerste practische uitvoering van een dynamo willen wij de rijwiel-dynamo behandelen, omdat hiervan de constructie zeer eenvoudig is. Het principe van de dynamo hebben wij reeds in paragraaf 28 verteld. Daaruit bleek, dat een spanning werd opgewekt door het aantal krachtlijnen door een spoel steeds te variëren b.v. door een spoel bestaande uit een aantal windingen rond te wentelen in het magnetisch veld van een parmanente magneet. Bij de Philips rijwiel-dynamo is de constructie enigszins anders, omdat hierbij de spoel stilstaat en de magneet in de spoel rondwentelt. Men noemt de vaste spoel de statorspoel en de draaiende magneet de rotor. Het principe is echter niet veranderd, want door het draaien van de magneet, wordt ook hier, door het veranderen van het aantal door de spoel omvatte krachtlijnen, een inductiespanning in de spoel opgewekt. De constructie met de draaiende magneet heeft het voordeel dat de spoel niet beweegt, zodat men de spanning van de spoel eenvoudig door middel van 2 klemmen kan afnemen. Bij een draaiende spoel moet men steeds van 2 glij- of sleepcontacten gebruik maken

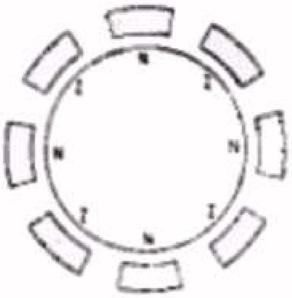


Vereenvoudigde constructie-tekening van een rijwieldynamo. Door middel van het wieltje a wordt de as c, die in een zelfsmerend bronslager b gelagerd is, aangedreven. Op deze as zit de 8-polige magneet d bevestigd. Rondom deze magneet bevinden zich 4 lange strippen e en 4 korte strippen f, die resp. tezamenkomen onder en boven de spoel g. De korte en lange strippen komen afwisselend tegenover een Noord- en een Zuidpool van de 8-polige magneet, waardoor een wisselend magnetisch veld in de spoel g ontstaat, en dientengevolge een spanning in de spoel wordt geinduceerd, die wordt gebruikt om het rijwiellampje te voeden.

Fig. 12

om de opgewekte inductiespanning naar buiten te voeren. In fig. 12 is de doorsnede van een dergelijke dynamo getekend. De magneet (d)

heeft 8 polen, 4 zuid- en 4 noordpolen. In fig. 13 is weergegeven hoe de polen over de ringvormige magneet zijn verdeeld; de Noord- en de Zuidpolen liggen om en om. Rondom de magneet zijn 8 metalen strippen aangebracht. Vier van deze strippen (f) zijn kort en de andere vier (e) lang. De korte strippen zijn met elkander verbonden en komen samen boven de spoel g. Ook de lange strippen zijn met elkander verbonden en komen samen onder de spoel. In fig. 13 is te zien dat de korte strippen en de lange strippen steeds tegenover gelijknamige polen komen te liggen. Afhankelijk van de positie van de rotor (de magneet) vormen de korte strippen tezamen de Noordpool van de spoel en de lange strippen tezamen de Zuidpool of omgekeerd. De rotor is draaibaar om een as (c), die door middel van een wieltje (a) wordt aangedreven. De as is gelagerd in een zelfsmerend poreus bronslager (b). Zodra de rotor draait, komen de strippen afwisselend tegenover een Zuid- of een Noordpool te liggen, waardoor het magnetisch veld in de spoel steeds wisselt. Dit heeft dus een verandering van het aantal krachtlijnen in de spoel tot gevolg, waardoor een inductiespanning in de spoel wordt opgewekt.

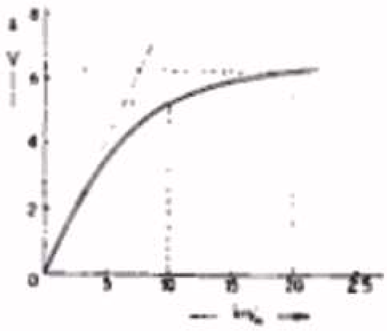


Doorsnede van de rotormagneet met de statorstrippen. De korte strippen zijn van stippen voorzien; de blanco doorsneden stellen de langstrippen voor.

Fig. 13

Neemt men b.v. het geval, dat de rotor 1/8 omwenteling heeft afgelegd. De lange strippen bevinden zich dan tegenover een Noordpool en de korte strippen tegenover een Zuidpool. De pool boven de spoel is nu dus een Zuidpool en onder de spoel bevindt zich een Noordpool. Na elke 1/8 omwenteling verandert deze polariteit en wordt dus in de spoel door inductie een spanning met ongeveer de vorm van fig. 7 opgewekt, die wordt afgenomen van de aansluitklem h onder aan de dynamo en het metalen huis. De aansluitklem h is uiteraard geisoleerd van het metalen huis.

Uit par. 26 kan men afleiden dat de inductiespanning toeneemt, als de rotor sneller ronddraait. Als we de opgewekte spanning afhankelijk van het toerental in een grafiek zouden uitzetten, zou dus feitelijk een rechte lijn moeten ontstaan (zie de gestippelde lijn in fig. 14). De getrokken lijn in deze figuur geeft echter het werkelijke spanningsverloop aan, afhankelijk van de snelheid in km per uur. Dit spanningsverloop heeft een belangrijk voordeel, omdat nu een soort spanningsstabiliserende werking optreedt, nadat de snelheid groter is dan ca. 10 km per uur. Men heeft hierdoor minder gevaar dat het op de dynamo aangesloten lampje zal doorbranden, wanneer de fiets met een te grote snelheid zou rijden.

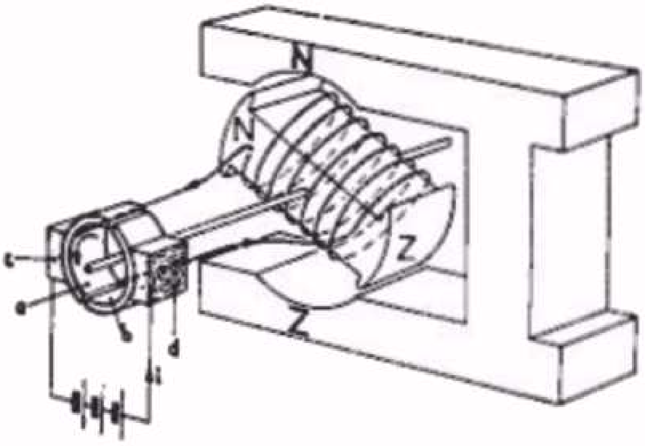


Grafische voorstelling van de door de rijwieldynamo afgegeven spanning, afhankelijk van de rijsnelheid.

Fig. 14

31. De "Philishave" motor

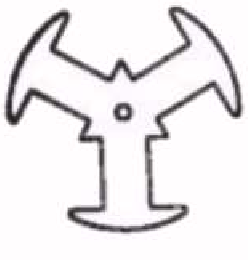
Wij hebben in paragraaf 23 van les 5 gezien, dat op een stroomvoerende geleider in een magnetisch veld een kracht wordt uitgeoefend. Tengevolge van deze kracht zal de geleider zich willen verplaatsen. In het geval van de draaispoelmeter was deze geleider in de vorm van een raamvormig spoeltje uitgevoerd, dat om zijn as draaide. De uitslag werd hierbij echter geremd door het z.g. tegenkoppel, dat door een veer werd opgewekt.
De werking van de motor berust in principe op hetzelfde verschijnsel. Fig. 15 geeft het principe van de werking weer. Tussen de polen van een magneet is een spoel met ijzerkern (het anker) draaibaar opgesteld. De spoel wordt op een gelijkspanningsbron aangesloten via twee lamellen a en b (de collector) en de koolborstels c en d.



Principe van de gelijkstroommotor
a en b = lamellen van de collector
c en d = koolborstels.

Fig. 15

In de getekende stand is het magnetisch veld van de spoel met kern zodanig dat links een noordpool en rechts een zuidpool ontstaat. Deze polen zullen door de gelijknamige polen van de magneet worden afgestoten, zodat het anker gaat draaien. De lamellen, die in de practische uitvoering op hetzelfde lichaam van het anker zijn aangebracht, draaien eveneens.
Na een kwartslag gedraaid te hebben komen de N en Z-polen van de spoel in de buurt van de Z- resp. N-pool van de magneet. Het anker draait nu verder door de aantrekkende kracht tussen de ongelijknamige polen. Zodra echter de ongelijknamige polen tegenover elkander komen te staan, zal er geen aandrijvende kracht op het anker komen. Maar nu zijn de lamellen a en b intussen van positie veranderd, waardoor de stroom door de spoel in omgekeerde richting loopt. Wat eerst een N-pool was, wordt nu een Z-pool en de Z-pool wordt een N-pool. Hierdoor komen weer gelijknamige polen tegenover elkander te liggen. Deze stoten elkander af en er wordt op het anker weer een zodanige kracht uitgeoefend, dat het verder draait.
Op deze wijze zal het anker enigszins stotend ronddraaien. Om dit ronddraaien enigszins soepeler te laten geschieden, voert men het in de vorm van fig. 16 uit. Hierbij wordt dan een collector met 3 lamellen gebruikt, zodat de stroom driemaal per omwenteling verandert, in plaats van tweemaal.

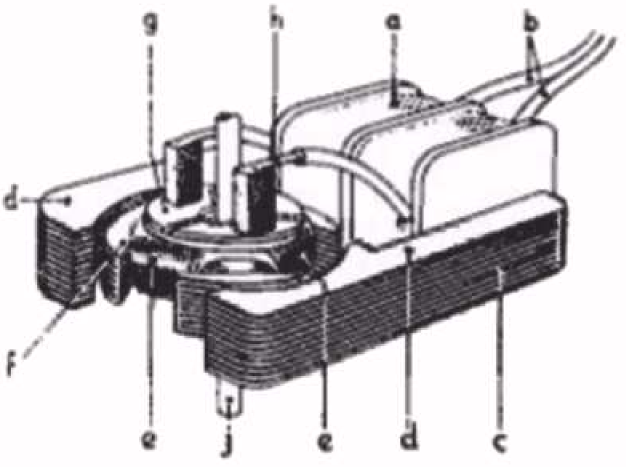


Voorbeeld van een stervormig anker, waardoor de motor minder stotend loopt.

Fig. 16

De practische uitvoering van de motor wijkt dikwijls om verschillende redenen af. Wij willen hier als voorbeeld de motor uit een

der typen "Philishave" in het kort behandelen, omdat de constructie zeer eenvoudig is. In fig. 17 is het belangrijkste gedeelte van de



Het belangrijkste gedeelte van de motor van een "Philishave". In het veld van de electro-magneet c die door de spoel a wordt bekrachtigd, bevindt zich de rotorspoel e. Zodra het geheel op het net wordt aangesloten vloeit een stroom door de bekrachtigingsspoel a en door de rotorspoeltjes e; hierdoor ontstaat er een zodanige kracht op het anker, dat dit gaat draaien. De stroomtoevoer geschiedt door middel van 2 koolborsteltjes h die via de spoel a met het net zijn verbonden. In de "Philishave" bevindt zich verder op de as j een tandradoverbrenging die het mesje op het gewenste toerental laat draaien.

Fig. 17

motor getekend. Hierin is in plaats van een permanente magneet een electromagneet gebruikt, die wordt bekrachtigd door de spoel a. De stroom wordt toegevoerd via de draden b. De ijzerkern c wordt dus magnetisch en tussen de uitgeholde polen d bevindt zich nu de spoel, waardoor een stroom wordt gevoerd. In deze uitvoering is de z.g. rotorspoel in serie geschakeld met de bekrachtigingsspoel van de magneet. Deze rotorspoel is in 3 secties verdeeld (e). De spoeltjes bevinden zich op het anker f en het geheel kan juist tussen de polen d van de electromagneet draaien. Zodra het geheel op het net wordt aangesloten, vloeit er een stroom door de bekrachtigingsspoel a en door de rotorspoeltjes e. Hierdoor ontstaat er een zodanige kracht op de rotor, dat deze gaat draaien. De stroomtoevoer geschiedt via de collector g en 2 koolborsteltjes h die via de spoel a met het net zijn verbonden.
In de "Philishave" bevindt zich verder op de as j een tandradoverbrenging die het mesje op het gewenste toerental laat draaien.

LES 6

SAMENVATTING

1. Een gelijkstroom is een stroom die niet van richting verandert; een wisselstroom daarentegen is een stroom die steeds van richting verandert.

2. Wanneer het aantal door een spoel omvatte krachtlijnen verandert, zal er in deze spoel een inductiestroom ontstaan.

3. De sterkte van deze stroom is van de volgende factoren afhankelijk:

   a. de snelheid, waarmede de verandering van het aantal omvatte krachtlijnen plaats heeft.
   b. de sterkte van het magnetische veld.
   c. het aantal windingen van de spoel.

4. De richting van de inductiestroom volgt uit de wet van Lenz. Deze luidt: "De richting van de inductiestroom is altijd zodanig dat hij zich verzet tegen de oorzaak, waardoor hij tot stand komt."

5. Men kan de richting var de inductiestroom ook bepalen door middel van de drie-vingerregel, die luidt: "Plaatst men de duim, de wijsvinger en de middelvinger van de linkerhand loodrecht op elkander en stelt de middelvinger de veldrichting voor, tussen de magneetpolen, de duim de richting van de beweging van de draadwikkeling, dan geeft de wijsvinger derichting van de geinduceerde stroomin de draadwikkeling aan".

6. Onder de zelfinductie van een spoel verstaat men de eigenschap die deze spoel bezit, om bij doorlaten van een veranderlijke stroom, een Electro Motorische Kracht (EMK) in zichzelf te induceren. Deze EMK noemt men de EMK van zelfinductie.

7. De eenheid van zelfinductie is de Henry (afgekort H). Een spoel bezit de eenheid van zelfinductie indien een stroom-verandering van 1 Amp. per seconde in de spoel een inductie-spanning van 1 V. opwekt. Naast de waarde H heeft men nog de practische eenheden.

   1 millihenry = 1 mH = 0,001 Henry
   1 microhenry = 1 μH = 0,000001 Henry

8. Tussen de uiteinden van een winding welke ronddraait in een magnetisch veld wordt een inductie-spanning opgewekt, hierop berust de werking van de dynamo. De draadwinding is hierbij vervangen door een spoel.

9. Wanneer men deze geinduceerde spanning in een grafische voorstelling uitzet als functie van de tijd, ontstaat er een golflijn (sinuslijn).
   De verandering van deze golflijn keert regelmatig terug of met

andere woorden is periodiek. De tijd waarin één zo'n periodieke verandering wordt voltooid, noemen wij een periode van de wisselstroom. Een periode bestaat uit een positieve en een negatieve faze.

10. Het aantal perioden per seconden heet de frequentie. De frequentie wordt uitgedrukt in Herz (afgekort Hz) of in cycles per seconde (afgekort c/s).

Andere eenheden zijn:

1 kiloherz = 1 kHz = 1000 H of
1 kilocycle per seconde = 1 kc/s = 1000 c/s

1 megaherz = 1 MHz = 1000 kHz = 1.000.000 H of
1 megacycle per seconde = 1 Mc/s = 1000 kc/s = 1.000.000 c/s.

11. Van een sinusvormige wisselstroom-spanning onderscheidt men 3 waarden:

a. de maximale waarde of amplitude
b. de gemiddelde waarde
   De gemiddelde waarde van een wisselstroom is gelijk aan de waarde van een denkbeeldige gelijkstroom die in dezelfde tijd dezelfde *hoeveelheid* verplaatst.

   $I_{gemiddeld} = \frac{2}{\pi} I_{max.} =$ ca. $0,64\ I_{max.}$ en

   $E_{gemiddeld} = \frac{2}{\pi} E_{max.} =$ ca. $0,64\ E_{max.}$

c. de effectieve waarde.
   Onder de effectieve waarde van een wisselstroom verstaat men de waarde van een denkbeeldige gelijkstroom die in dezelfde tijd dezelfde hoeveelheid *arbeid* verricht.

   $I_{eff.} =$ ca. $0,7\ I_{max.}$ en $I_{max.} =$ ca. $1,4\ I_{eff}$

   $E_{eff.} =$ ca. $0,7\ E_{max.}$ en $E_{max.} =$ ca. $1,4\ E_{eff}$

VRAGEN EN VRAAGSTUKKEN

1. Wat is het kenmerkend verschil tussen een gelijkstroom en een wisselstroom?

2. Kan men van de frequentie van een gelijkstroom spreken? Zo ja, hoe groot is deze dan, zo neen, waarom niet?

3. Wat zal er gebeuren, wanneer de metalen staaf TQ in fig. 3 niet uit 2 van elkander geisoleerde delen zou bestaan, doch geheel van metaal zou zijn?

4. Men drijft een dynamo met een constante snelheid aan. De frequentie van de inductiespanning is 25 Hz. Wanneer men de aandrijfsnelheid verdubbelt, hoe groot is dan de frequentie? Verandert de inductie-spanning ook? Wat kunt U van de periode zeggen?

5. De rijwieldynamo's bestaan in diverse uitvoeringen nl. voor 6, 8, 10 en 12 V.
   Wat kan het verschil veroorzaken?

6. Reken de navolgende frequenties om in Hz.

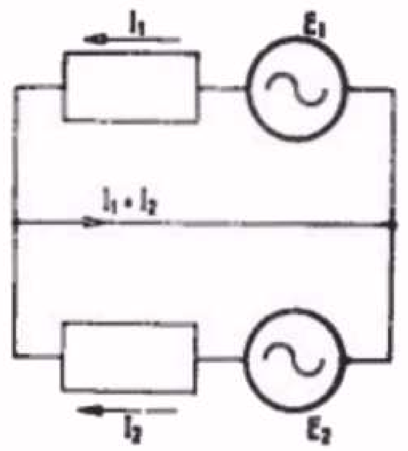
   a. f = 8 c/s
   b. f = 12 kHz
   c. f = 2 Mc/s
   d. f = 4 kc/s
   e. f = 7,2 mHz
   f. f = 0,001 kHz

7. De effectieve waarde van de netspanning is 110 V. Wat is dan de maximale waarde van deze spanning?

8. De waarde van een sinusvormige wisselstroom is 5 A. Hoe groot is de effectieve waarde?

32. Faze en Fazeverschil

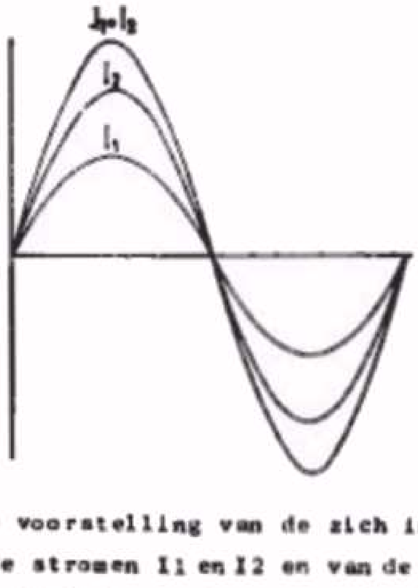
Het begrip faze en fazeverschil van een wisselstroom of -wisselspanning willen wij eerst aan de hand van een practisch voorbeeld verduidelijken. Twee loopjongens moeten eenzelfde weg afleggen. Ze vertrekken gelijk en ze lopen even hard. Een uur na het vertrek is de plaats van bestemming bereikt. Aangezien beide jongens even hard lopen en de afstand even groot was, zullen zij op hetzelfde tijdstip hun doel bereiken. De onderlinge afstand tussen deze twee jongens is steeds 0 geweest.



Twee generatoren met een EMK E1 resp. E2 zenden door een leiding de stromen I1 resp. I2 die in een gemeenschappelijke leiding tezamen komen. Als zij op hetzelfde moment beginnen te draaien, terwijl hun ankers in dezelfde positie liggen, vallen de maximum waarden van I1 en I2 samen, d.w.z. de stromen I1 en I2 zijn in faze.

Fig. 1

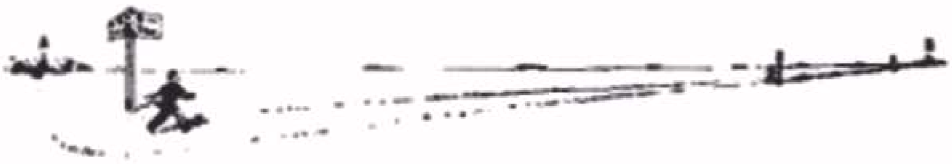
Bekijken wij thans het overeenkomstige geval in de electrotechniek. Wij sturen 2 wisselstromen door dezelfde draad. De frequenties van deze stromen zijn gelijk, terwijl de punten van de maximum waarden en de snijpunten met de as op dezelfde tijdstippen optreden. Dit geschiedt bijvoorbeeld wanneer men 2 wisselstroomgeneratoren met dezelfde frequenties schakelt volgens fig. 1.
De ankers van deze generatoren plaatsen wij in dezelfde positie, zodat zij, nadat de generatoren op gang gezet zijn, 2 overeenkomstige sinusvormige spanningen opwekken. Als wij nu de wisselstromen in beeld brengen, verkrijgen wij fig. 2. Wij zien uit deze figuur, dat de stromen als het ware op hetzelfde tijdstip en vanaf hetzelfde punt vertrekken en dat zij steeds op hetzelfde tijdstip dezelfde punten bereiken. Men drukt dit in de techniek uit door te zeggen, dat beide stromen in faze zijn.



Grafische voorstelling van de zich in faze bevindende stromen I1 en I2 en van de totale stroom I1 + I2. Deze stromen zijn in faze omdat hun 0-doorgangen en hun max. waarden (amplituden) op dezelfde momenten optreden.

Fig. 2

In zeer vele gevallen, zullen de stromen niet in faze zijn, d.w.z. waarbij hun 0-punten niet samenvallen en hun maximum waarden niet op hetzelfde tijdstip optreden. We zullen dit eerst weer vergelijken met de 2 loopjongens. (fig. 3).
Beide loopjongens moeten weer van plaats A naar plaats B gaan, en ze lopen met dezelfde snelheid van bijv. 4 km. per uur. De eerste loopjongen vertrekt om 4 uur, de tweede echter 15 minuten later. Omdat ze met dezelfde snelheid lopen, zal het onderlinge verschil in afstand steeds hetzelfde blijven. Die afstand zal zijn $\frac{15}{60} \times 4 = 1$ km.

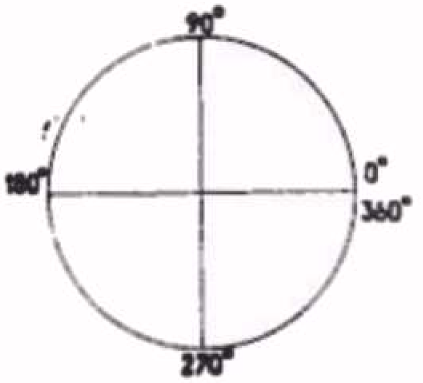


Illustratie van het fazeverschil tussen 2 loopjongens. Zij vertrekken beide uit het punt A; de ene loopjongen start echter eerder dan de andere. Als zij met dezelfde snelheid lopen, zal er tussen beide een constant verschil in afstand, dus in faze, blijven bestaan.

Fig. 3

De tweede jongen zal het eindpunt B dus ook 15 minuten later bereiken. Wij gaan thans weer terug naar het voorbeeld van de wisselstroom. Wij schakelen de 2 generatoren in serie en laten ze weer met dezelfde snelheid draaien. De opgewekte wisselstromen bezitten dus dezelfde frequentie. Wij zorgen er echter voor, dat het anker van de ene generator loodrecht staat ten opzichte van die van de andere generator. Op deze wijze ontstaan 2 wisselstromen die beide een sinusvorm hebben, die echter op verschillende tijdstippen hun maximum waarde bereiken (fig. 5).

Er is nu een constant verschil in afstand tussen de 0-punten en tussen de tijdstippen waarop de stromen hun maximale waarden bereiken. Men zegt hiervan dat de stromen in faze verschillen en dat de ene stroom naijlt ten opzichte van de andere stroom, of dat die andere stroom voorijlt ten opzichte van de eerst genoemde stroom.

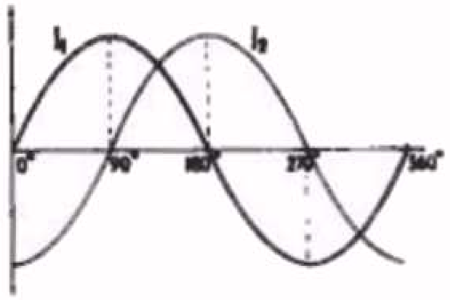


Grafische voorstelling van de gradenverdeling. Een complete omwenteling legt een hoek van 360° af; een halve omwenteling beslaat dus 180°.

Fig. 4

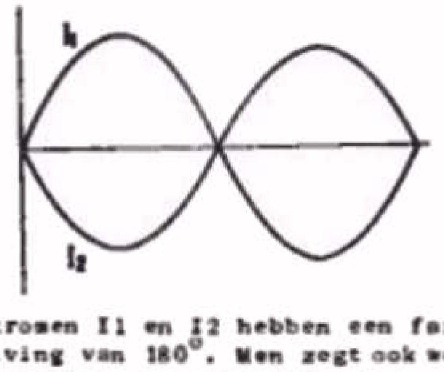
Om uit te kunnen drukken hoeveel het fazeverschil is, of in andere woorden, hoeveel de ene stroom na- resp. voorijlt ten opzichte van de andere stroom, heeft men het volgende ingevoerd.

Zoals wij in de vorige les gezien hebben, wordt een periode geproduceerd zodra het anker één omwenteling heeft volbracht. Bij zo een omwenteling heeft het anker als het ware een cirkelvormige weg afgelegd. Van uit het middelpunt bekeken, verdeelt men nu de cirkel in 360 graden (= 360°). Een halve cirkel heeft dus 180 graden en een kwart cirkel 90 graden. Een halve periode komt dus overeen met een draai van het anker van 180 graden en een kwart periode (bijv. van een 0-punt tot de eerste maximale waarde) komt overeen met 90 graden. In fig. 5 verschillen de 2 stromen dus 90 graden in faze. In fig. 6 verschillen de twee stromen 180 graden in faze; men noemt dit ook in tegenfaze. Men zegt ook wel dat de ene stroom (in fig. 5, stroom I_1) 90° in faze voorijlt ten opzichte van stroom I_2).



De stromen I1 en I2 verschillen 90° in faze. Men zegt ook wel, dat de stroom I1 90° in faze voorijlt t.o.v. de stroom I2.

Fig. 5



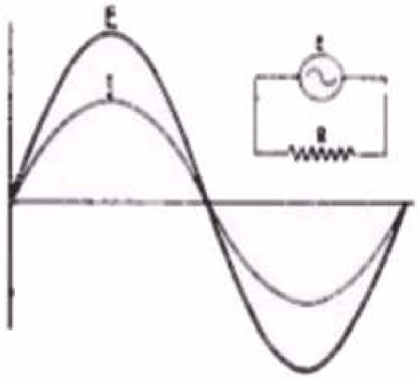
De stromen I1 en I2 hebben een fazeverschuiving van 180°. Men zegt ook wel dat beide stromen in tegenfaze zijn.

Fig. 6

33. Gedrag van een Ohmse weerstand aangesloten op een wisselspanning

Wij hebben in les 1 gezien, dat de stroom door een ohmse weerstand bepaald wordt door de wet van Ohm: $I = \frac{E}{R}$. Tot nu toe hadden wij dit alleen bekeken bij een gelijkspanning.

Wat gebeurt er nu als een wisselspanning over de weerstand staat? (fig. 7) Deze wisselspanning verandert steeds van waarde, zodat ook de stroom door de weerstand van waarde verandert. Bekijken we nu moment voor moment hoe groot de stroom is, dan kunnen wij deze steeds met behulp van de wet van Ohm berekenen en het resultaat in een grafiek uitzetten. Het blijkt dan, dat de stroomkromme een vorm heeft, die overeenkomt met die van de wisselspanning. Dit is trouwens logisch als men voor ogen houdt, dat bij 0 V spanning de stroom ook 0 zal zijn en bij de maximale waarde van de spanning de stroom eveneens zijn maximale waarde zal bezitten en zo zullen voor daartussen liggende waarden van de spanning, de stromen overeenkomstige waarden bezitten. *In het geval van een Ohmse weerstand is de stroom in faze met de spanning.*



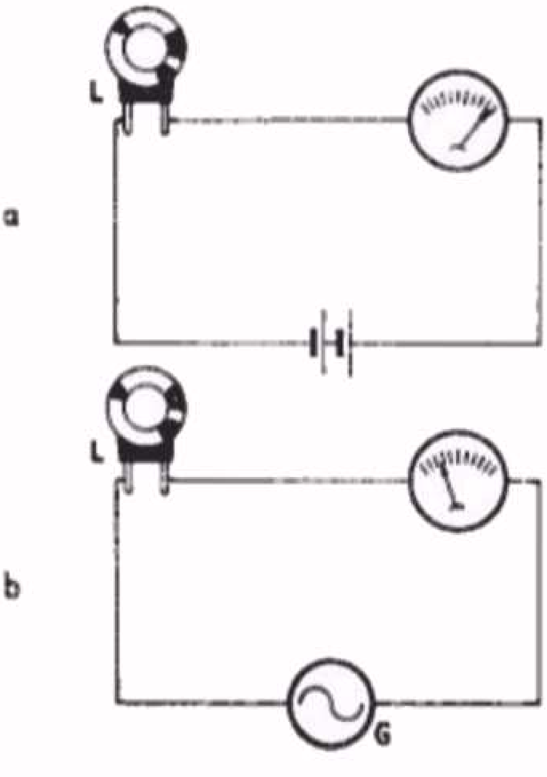
De stroom door een ohmse weerstand is in faze met de spanning over die weerstand.

Fig. 7

Het vermogen in een weerstand is ook nu I^2R, waarbij nu echter voor I de effectieve waarde van de wisselstroom geldt.

34. Gedrag van een spoel aangesloten op een wisselspanning

In de voorgaande paragraaf zagen we dat het gedrag van een weerstand voor een gelijkspanning en een wisselspanning gelijk was. Dit is met de spoel niet het geval. Wij kunnen dit het best aan de hand



a. Als men een spoel op een gelijkspanningsbron aansluit, zal er een stroom lopen die wordt bepaald door de spanning en de ohmse weerstand van deze spoel.

b. Als men een spoel aansluit op een wisselspanningsbron, zal de stroom kleiner zijn dan in geval a., aangezien door het inductieve karakter van de spoel de verandering van de stroom als het ware wordt tegengewerkt. De wisselstroomweerstand van de spoel is gelijk aan 6,28 fL.

Fig. 8

van fig. 8 laten zien. Wij sluiten eerst een spoel via een Ampèremeter aan op een gelijkspanning van bijv. 2 V. De Ampèremeter zal dan een zeer hoge stroom aanwijzen. De waarde van deze stroom hangt af van de ohmse weerstand van de spoel, die doorgaans zeer klein is. (Als men deze proef zelf wil nemen, dient men dan ook terdege rekening te houden met de hoge stroomwaarde). Vervolgens vervangen wij de gelijkspanningsbron door een wisselspanningsbron met een spanning van 2 V en een frequentie van 50 Hz. Het blijkt, dat de Ampèremeter nu minder uitslaat dan in het voorgaande geval. Hoe komt dit?

De verklaring schuilt in het feit, dat de spoel een zelfinductie bezit. In de voorgaande les hebben wij gezien, dat tengevolge van het inductieve karakter een spoel zich verzet tegen een verandering van de stroom. Zodra de stroom van waarde verandert, varieert de sterkte van het magnetisch veld. Door het zelfinductie-verschijnsel zal dan een inductiestroom opgewekt worden, die zich verzet tegen het veranderen van het oorspronkelijke veld. Er treedt dus een remmende werking op, die des te groter zal zijn, naarmate de zelfinductie van de spoel groter is (denk hier aan het voorbeeld van het vliegwiel). Wij hebben ook gezien, dat de remmende werking des te sterker is, naarmate de verandering in een kortere tijd plaats heeft, dus naarmate de frequentie van de wisselspanning en -stroom groter is. Dit heeft tot gevolg, dat de stroom die men meet bij aansluiting van de spoel op een wisselspanning veel lager is, dan wanneer men deze spoel op een gelijkspanning had aangesloten. De weerstand van de spoel bij een wisselspanning is dus blijkbaar geheel anders, dan voor de gelijkspanning. Bij de gelijkspanning hadden we alleen te maken met de ohmse weerstand van de spoel, dus van de draad; bij een wisselspanning komt hierbij de remmende werking ten gevolge van het inductieve karakter van de spoel. Men heeft daarom het begrip wisselstroom weerstand (of reactantie) ingevoerd, die gelijk is aan:

$$\text{wisselstroomweerstand } X_L = \frac{\text{wisselspanning}}{\text{wisselstroom}}$$

Men kan bewijzen dat deze wisselstroom-weerstand gelijk is aan:

$$X_L = 2\pi fL = 6,28\ fL$$

In deze formule betekent: $\pi = \frac{22}{7} = 3,14$

f = frequentie in Hz

L = zelfinductie in Henry

Uit deze formule ziet men direct, dat *de wisselstroom-weerstand van een spoel groter is, naarmate de frequentie en de zelfinductie groter is.* Dezelfde spoel zal dus bij aansluiting op een wisselspanningsbron met een frequentie van 500 Hz een 10 x kleinere stroom doorlaten dan bij een frequentie van 50 Hz. Ter illustratie enige getallen voorbeelden.

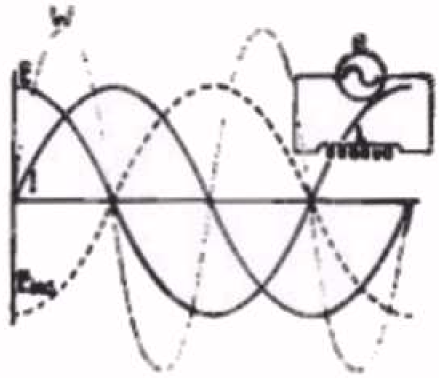
A. Een spoel met een zelfinductie van 2 mH wordt aangesloten op een wisselspanning van 1 V met een frequentie van 50 Hz. Hoe groot is de stroom?
De wisselstroom weerstand is gelijk aan $X_L = 2\pi fL =$

$$2 \times 3,14 \times 50 \times \frac{2}{1000} = \text{ca. } 0,6 \text{ ohm.}$$

De stroom die door de spoel zal vloeien is dus $\frac{1}{0,6} =$ ca. 1,67 A.

B. Hoe groot zal de wisselstroom-weerstand van bovenstaande spoel zijn bij een frequentie van 500 kHz? Deze wisselstroom weerstand wordt 6,28 x 500.000 x $\frac{2}{1000}$ = 6280 ohm.
Bij 1 V zou nu de stroom slechts 0,16 mA zijn.

Wij willen thans nog bekijken hoe de fazeverhouding van de stroom en spanning bij een spoel is. Hiervoor gaan we uit van fig. 9, waarin de lijn I de wisselstroom voorstelt. Als wij nu de verandering van deze stroom moment voor moment bekijken, dan zien we dat deze verandering bij de 0-doorgangen veel groter is dan die bij hun amplituden (maximum waarden). Aangezien de inductiespanning afhankelijk is van de grootte van verandering, zal de inductiespanning op het moment dat de stroom door de 0-doorgang gaat, het grootst zijn en waar de stroom zijn maximale waarde bereikt het kleinst (zelfs 0). Men komt dus tot het merkwaardige feit, dat de inductiespanning in de spoel 0 is, als de stroom in de spoel juist zijn maximale waarde bereikt, en dat de inductiespanning maximaal is als de stroom 0 is. Deze inductiespanning is in fig. 9 gestippeld getekend. Men ziet dat er tussen de stroom en de inductiespanning een fazeverschuiving van 90° bestaat of in andere woorden, dat de stroom 90° voorijlt op de inductiespanning.



De stroom door de spoel ijlt 90° na bij de wisselspanning E die over de spoel staat. De inductiespanning E_{ind} bevindt zich in tegenfaze met de spanning E en ijlt dus 90° na t.o.v. de stroom I. Het opgenomen vermogen over 1 periode genomen, is nul.

Fig. 9

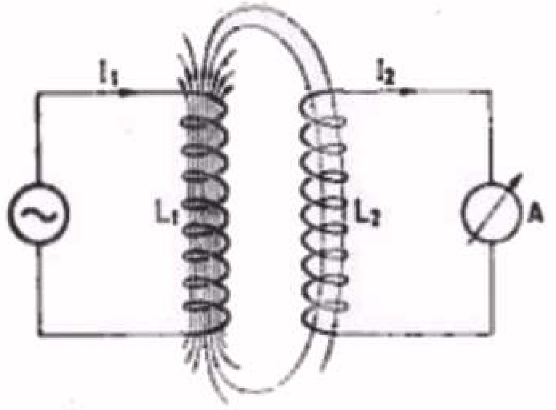
De inductiespanning is echter de spanning die op elk moment de verandering tracht tegen te werken en daarom steeds tegengesteld gericht is aan de oorspronkelijke wisselspanning. De oorspronkelijke wisselspanning die aan de klemmen van de spoel wordt aangesloten, moet dus juist in tegenfaze met de inductiespanning E_{ind} in de figuur worden getekend. Hieruit blijkt, dat *de stroom door een spoel 90° in fase achterloopt bij de wisselspanning waarop de spoel wordt aangesloten.*

Dit heeft nog een merkwaardig feit tot gevolg. Het vermogen dat de spoel bij deze wisselspanning opneemt is op elk moment gelijk aan het product E x I.
Men kan nu dit product moment voor moment uitrekenen en in fig. 9 uitzetten (zie gestippelde lijn W). Op de momenten waarop de spanning of de stroom 0 is, is het product E x I ook 0. In de eerste kwartperiode zal dan de getekende halve sinus boven de nullijn ontstaan. In de tweede kwartperiode is de situatie echter anders. Nu loopt de spanningskromme beneden de 0-lijn (de spanning E is dan negatief), de stroomkromme is daarentegen nog boven de nullijn (positief). De richting van spanning en stroom is in deze kwartperiode tegengesteld, waardoor het vermogen negatief wordt.
Dit komt hierop neer, dat het vermogen, dat in de eerste kwartperiode door de generator aan de spoel is toegevoerd, in de tweede

kwartperiode aan de generator teruggegeven wordt! D.w.z. het totale vermogen, door de generator geleverd, is nul!
Hetzelfde ziet men gebeuren in de volgende twee kwartperioden. In de derde kwartperiode hebben spanning en stroom dezelfde richting, het vermogen is dus positief, d.w.z. de generator levert vermogen aan de spoel af. In de laatste kwartperiode is de spanning positief, de stroom daarentegen negatief, zodat het vermogen nu negatief wordt. Nu wordt het vermogen weer aan de generator teruggegeven. Omdat in totaal geen vermogen wordt opgenomen, spreekt men in dit geval van schijnbaar vermogen. Ter onderscheid van een werkelijk opgenomen vermogen, zoals bij een weerstand (Watt), drukt men het schijnbare vermogen uit in VA (volt-ampère).
Men kan dit verschijnsel vrij eenvoudig gedemonstreerd zien. Daartoe neemt men een smoorspoel uit een ontvangtoestel en sluit deze via een Ampèremeter op het wisselspanningsnet aan. Ondanks het feit, dat de Ampèremeter een bepaalde stroom zal aantonen, zal men de electriciteitsmeter, die alleen het werkelijk opgenomen vermogen noteert, niet zien reageren.

35. Wederzijdse Inductie

In par. 27 van les 6 hebben wij gezien hoe een spoel in zichzelf een inductiespanning opwekt ten gevolge van een verandering van het magnetisch veld in en om de spoel. Wij zullen nu een stap verder gaan en in de nabijheid van deze spoel een tweede spoel opstellen. (fig. 10.) De magnetische krachtlijnen rondom de eerste spoel omvatten nu tevens de tweede spoel. Veranderen wij nu de stroom door spoel I, dan zal het magnetisch veld veranderen. Behalve een inductiespanning in spoel I, zal nu ook een inductiespanning in spoel II opgewekt worden. Deze spoel bevindt zich immers ook in dit veranderlijke magnetisch veld. Hetzelfde verschijnsel ziet men optreden als men spoel II op een veranderlijke spanning aansluit, zodat dan in spoel I een spanning wordt geinduceerd. Het inducerende effect geschiedt dus van 2 kanten. Men noemt dit verschijnsel *wederzijdse inductie* en men spreekt in zo'n geval van twee gekoppelde spoelen. Deze eigenschap wordt in eenzelfde factor uitgedrukt als de zelfinductie, nl. door de coëfficiënt van wederzijdse inductie.



Als men een spoel L2 in het magnetisch veld brengt van de spoel L1, dan zal er een spanning in spoel L2 worden geinduceerd. Ten gevolge daarvan zal er een stroom I2 in de keten van spoel L2 gaan vloeien. Men zegt dat in dit geval de spoelen L1 en L2 met elkander zijn gekoppeld.

Fig. 10

Men heeft de eenheid van wederzijdse inductie (het symbool is M) als een stroomverandering van 1 A per seconde in de ene spoel een inductiespanning van 1 V in de andere spoel opwekt. Men drukt deze eenheid in *Henry* uit.

Het zal duidelijk zijn, dat deze inductiespanning des te sterker zal zijn, naarmate de tweede spoel meer door de krachtlijnen van de eerste spoel wordt omvat. De inductiespanning zal ook groter zijn, naarmate de zelfinductie van de tweede spoel groter is en naarmate de verandering in een kortere tijd plaats heeft, d.w.z. naarmate de frequentie hoger is. *)
De sterkte van de koppeling hangt echter niet alleen af van de afstand tussen de 2 spoelen, maar ook van de positie van de 2 spoelen. De inductie is uiteraard het grootst als de krachtlijnen in de lengterichting door de spoel gaan. Stelt men de koppelende spoel zodanig bij de eerste spoel op, dat de lengte-assen van de spoelen loodrecht op elkander staan, dan zal de inductie minimaal zijn. Van dit feit maakt men o.a. gebruik in het ontvangtoestel en de versterker, wanneer men 2 spoelen zodanig wil opstellen, dat hun velden elkander niet beinvloeden. Bij voorbeeld, de spoelen van de krachttransformator mogen de spoelen van de uitgangstransformator niet beinvloeden, zodat men deze transformatoren bij voorkeur loodrecht ten opzichte van elkander opstelt.

36. Serie en parallelschakeling van spoelen

Men kan spoelen, evenals weerstanden, in serie en parallel schakelen. Zo lang deze spoelen zodanig opgesteld zijn of door bepaalde maatregelen (afschermen) niet door elkanders magnetische velden worden omvat, of in andere woorden, magnetisch niet gekoppeld zijn, gelden dezelfde regels als voor weerstanden.

De totale zelfinductie van in serie geschakelde spoelen is dan gelijk aan de som van de zelfinducties van de enkele spoelen.

De totale zelfinductie van 2 parallel geschakelde spoelen is gelijk aan het product van de zelfinducties van die spoelen gedeeld door de som van de zelfinducties (zie par. 12 van les 2).

Deze kwestie wordt echter moeilijker, zodra er tussen de spoelen wel een magnetische koppeling bestaat, want nu worden de magnetische velden van deze spoelen wederzijds beinvloed. Zij kunnen elkanders veld versterken, maar ook verzwakken. Dit hangt af van het feit of de stroom door beide spoelen in dezelfde richting loopt of in tegengestelde richting. Men kan bewijzen, dat de totale zelfinductie van twee in serie geschakelde spoelen, die magnetisch gekoppeld zijn, gelijk is aan de som van de zelfinducties van de enkele spoelen plus 2 x de wederzijdse inductie, indien ze elkanders veld versterken. Als zij elkanders veld verzwakken, wordt de totale zelfinductie gelijk aan de som van de zelfinducties min 2 x de wederzijdse inductie. In formule wordt dit:

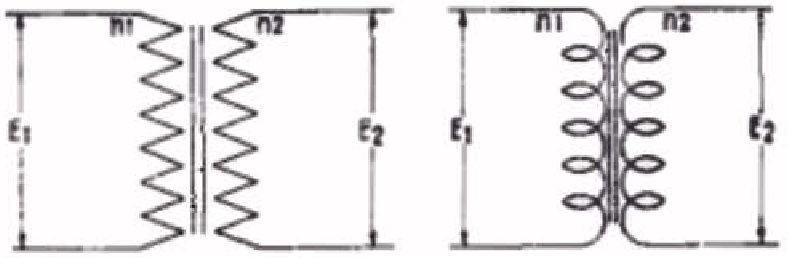
$$L_{tot} = L_1 + L_2 + 2M \quad \text{en}$$

$$L_{tot} = L_1 + L_2 - 2M$$

*) Men drukt dit uit in een bepaalde factor, de zog. koppelingsfactor k. Men kan bewijzen dat deze factor gelijk is aan $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$. Hierin is M de wederzijdse inductie tussen de spoelen, L_1 de zelfinductie van de ene spoel en L_2 de zelfinductie van de andere spoel.

37. De transformator

Onder een transformator verstaat men een toestel, waarmede het mogelijk is een lagere wisselspanning om te zetten in een hogere of omgekeerd. Hij bestaat in principe uit 2 spoelen die magnetisch gekoppeld zijn. In de voorgaande paragraaf zagen wij reeds, dat de geinduceerde spanning in de gekoppelde spoel afhankelijk is van de zelfinductie van die spoelen, dus van het aantal windingen van die spoelen; tevens dat de inductiespanning afhankelijk is van de sterkte van de koppeling, d.w.z. van de afstand en de positie van de 2 spoelen. Gewoonlijk zijn de spoelen van een transformator zeer sterk gekoppeld, zodat de wederzijdse inductie en de koppelingsfactor groot zijn. Het inducerende effect of eigenlijk het overbrengen van de ene spanning naar de andere spanning is dan ook groot. Bekijkt men de transformator van uit de spoel of wikkeling waaraan een wisselspanning wordt toegevoerd, dan noemt men deze spoel de primaire wikkeling of dikwijls kortweg primaire en men noemt de daarmee gekoppelde spoel de secundaire wikkeling of kortweg secundaire. Men heeft transformatoren die alleen bestaan uit 2 vast gekoppelde wikkelingen, de meeste transformatoren bezitten echter tevens een ijzerkern, waarop de gekoppelde wikkelingen zijn aangebracht. Ten gevolge van deze ijzerkernen wordt het magnetische veld veel sterker (zie hiervoor oòk par. 20 van les 4). De principiële voorstelling van een transformator is getekend in fig. 11.



Twee voorstellingen van twee gekoppelde spoelen met een gemeenschappelijke ijzerkern (transformator). De transformatieverhouding, dit is de verhouding van de primaire spanning E1 tot de secundaire spanning E2, is gelijk aan de windingsverhouding n1 : n2.

Fig. 11

Hierin is S 1 de primaire wikkeling en S 2 de secundaire wikkeling. De primaire wikkeling bestaat uit n1 windingen, de secundaire uit n2 windingen. Stel dat de primaire wordt aangesloten op een wisselspanning van bijv. 100 V, en dat de primaire uit 100 windingen bestaat (dus n1 = 100). De secundaire heeft bijv. 50 windingen (n2 = 50). Door de wisselspanning wordt in de primaire een stroom gestuurd, die een spanning in alle windingen induceert dus zowel in de primaire als in de secundaire windingen. In de primaire wikkeling wordt dus een inductiespanning geinduceerd die gelijk, maar tegengesteld is aan de primaire spanning, dus 100 V. Dit komt op 1 V per winding neer. Aangezien de secundaire wikkeling 50 windingen heeft, ontstaat hierover een spanning van 50 V. Hieruit blijkt, dat de spanning evenredig is met het aantal windingen van de wikkelingen. In dit geval was de windingsverhouding 100 : 50 = 2 : 1. Ook de spanningsverhouding bedraagt hier 2 : 1. De spanning van de primaire naar de secundaire is dus omlaaggebracht of getransformeerd. Zou het aantal windingen van de secundaire niet 50 maar 200 bedragen, dan zou dus de spanning aan de secundaire 200 V geweest zijn, omdat de verhouding van het aantal windingen gelijk is aan

$\frac{200}{100} = 2$. Men kan in principe dus aan de secundaire zijde van een transformator elke gewenste spanning verkrijgen door een juiste keuze van de windingsverhouding. In formule geschreven geeft dit:

$$\frac{E1}{E2} = \frac{n1}{n2}$$

Sluit men nu op de secundaire wikkeling van de transformator een weerstand aan, dan zal deze weerstand een bepaalde energie verbruiken. Deze energie wordt via de transformator aan de spanningsbron onttrokken. Deze spanningsbron heeft dus deze energie te leveren. Als wij verliezen in de transformator nog buiten beschouwing laten, dan zal deze energie van bijv. 100 W in de weerstand via de secundaire en de primaire wikkeling door de spanningsbron geleverd moeten worden. Dit vermogen is gelijk aan E x I. Als de spanning aan de secundaire zijde 100 V bedraagt, zal bij een vermogen van 100 W de stroom in de secundaire keten 1 A bedragen. Is de spanning aan de primaire, dus van de spanningsbron, 200 V, terwijl deze spanningsbron 100 W moet leveren, dan zal de stroom in de primaire wikkeling slechts 0,5 A bedragen. De verhouding van de stromen in de primaire en de secundaire wikkeling is dus juist het omgekeerde van de verhouding van de spanningen. In formule geeft dit:

$$\frac{I1}{I2} = \frac{E2}{E1}$$

Men dient hiermede terdege rekening te houden bij de constructie van een transformator. Wij hebben immers in les 1 gezien dat, in verband met de warmteontwikkeling, de doorsnede van de draad des te groter moet zijn, naarmate de stroom door de draad groter is. De wikkeling met de grootste stroom moet dus van dikker draad gewikkeld worden dan de wikkeling met de kleinste stroom. Zodra op een transformator een weerstand wordt aangesloten, die dus bij een bepaalde spanning energie opneemt, noemt men dit een belaste transformator en een weerstand noemt men de belasting. Een speciaal geval van belasting verdient nog even onze aandacht. Als wij nl. de weerstand 0 ohm maken, dit is het geval van kortsluiting, dan zal bij een bepaalde spanning door de secundaire wikkeling een zeer grote stroom gaan lopen, en ook door de primaire wikkeling. Het gevolg van deze kortsluiting kan zijn, dat de transformator doorbrandt of zelfs in brand geraakt ten gevolge van de te grote warmteontwikkeling. Een dergelijke kortsluiting behoeft niet alleen uitwendig op te treden, maar kan natuurlijk ook in de wikkeling zelf optreden. Zodra zelfs maar één winding van de wikkeling kort gesloten is, krijgt men hetzelfde effect. De spanning over deze winding is weliswaar veel kleiner, maar omdat de weerstand uiterst klein is, zal daardoor tocheen dusdanig grote stroom ontstaan, dat men weer hetzelfde effect verkrijgt, nl. dat de transformator doorbrandt.

Uit dit feit kan men ook nog een andere conclusie trekken. Wij hebben oorspronkelijk gezien dat een spoel, op een wisselspanning aangesloten, een bepaalde wisselstroom-weerstand bezit. De stroom door de spoel wordt bepaald door deze wisselstroom-weerstand en door de spanning over de spoel. Het blijkt nu dat zodra deze spoel wordt gekoppeld met een tweede spoel, die belast is met een weerstand, de stroom in de primaire spoel veel groter wordt dan men uit de berekening van wisselstroom-weerstand en aangesloten spanning zou ver-

wachten. Aangezien de wisselstroom-weerstand gelijk is aan 6,28 fL en de frequentie niet varieert, volgt daaruit, dat de zelfinductie verandert. In kort-gesloten toestand van de secundaire, waarbij een zeer grote stroom in de primaire ontstaat, is de zelfinductie dan blijkbaar tot practisch 0 teruggebracht. Deze beinvloeding van de zelfinductie van de primaire spoel wordt in de practijk soms opzettelijk gebruikt om de zelfinductie van de primaire spoel te regelen. (zie par. 39).

38. Wisselstroomverliezen

A. Huideffect

Als door een spoel een stroom loopt met een hoge frequentie, dan ontstaan door de zeer snelle stroomveranderingen dusdanige inductiestromen, dat zij de oorspronkelijke stroom in de draad tegenwerken. Het typische gevolg is, dat de wisselstroom de neiging vertoont om meer aan de oppervlakte (huid) van de geleider te vloeien dan in het midden. Het gevolg is, dat de kern van de draad niet aan het electriciteitstransport meedoet, zodat de reële doorsnede van de draad veel kleiner is, dan de werkelijke doorsnede. Dit betekent een vergroting van de weerstand; aangezien in de weerstand energie-verlies optreedt (gelijk aan I^2R) betekent dit, dat er in de spoel energie verloren gaat. Men noemt dit effect huideffect of skin effect (skin is het Engelse woord voor huid). Men zal uiteraard trachten dit verlies zo gering mogelijk te houden. Men gebruikt daarom dikwijls in plaats van een enkele massieve draad een snoer van een speciale samenstelling, z.g.n. litzedraad. Dit laatste draad is samengesteld uit een groot aantal zeer dunne onderling geisoleerde koperdraadjes. Deze draadjes zijn echter niet, zoals bij een gewoon snoer, in elkaar gedraaid, maar ze zijn op een bepaalde manier in elkaar gevlochten (zie fig. 12).

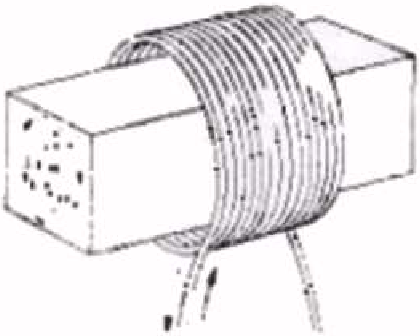
Vereenvoudigde voorstelling van de samenstelling van Litzedraad. Deze draad bestaat uit een groot aantal zeer dunne onderling geisoleerde koperdraadjes die zodanig in elkaar gevlochten zijn, dat elk der draadjes geleidelijk van de oppervlakte naar het binnenste van de geleider loopt en daarna weer van het binnenste naar de oppervlakte. Men past deze draadsoort toe om de invloed van het huideffect te verminderen. Fig. 12

De manier van vlechten komt hierop neer, dat elk der draadjes geleidelijk van de oppervlakte naar het binnenste van de geleider verloopt en daarna weer van het binnenste naar de oppervlakte.

Bij het solderen van het litzedraad, moet met alle adertjes contact gemaakt worden, daar anders de draaddoorsnede niet ten volle benut zou worden en men niet het gewenste effect zou bereiken. Dit solderen geschiedt als volgt: men verwijdert de omspinning over een afstand van 2 á 3 cm., verhit het draadeinde in een spiritusvlam totdat het roodgloeiend is en dompelt het snel onder in alcohol, waardoor het emaille van de draadjes afspringt; daarna kan men solderen.

B. Wervelstromen

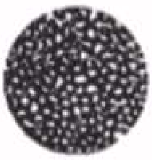
Als door een spoel een wisselstroom loopt, ontstaat er in deze spoel een veranderlijk magnetisch veld. Bevindt zich nu in het veld van deze spoel de een of andere geleider, dan ontstaat er ten gevolge van de magnetische veldveranderingen een EMK van inductie. Heeft men nu een spoel met een ijzerkern, dan zullen in deze ijzerkern inductiespanningen ontstaan en dientengevolge inductiestroompjes. Door het zeer snel wisselen van het veld krijgt men op deze wijze een werveling van stromen, waarvan de naam wervelstromen komt. Deze stromen veroorzaken een energieverlies door de weerstand van de ijzerkern. Om deze stromen zo veel mogelijk te beperken, bouwt men de ijzerkern bij transformatoren en spoelen voor lage frequenties op uit onderling geisoleerde blikken. Men noemt deze lamellen van de kern. (zie fig. 13).



Eenvoudige voorstelling ter illustratie van het ontstaan van wervelstromen in een spoel met ijzerkern.

Fig. 13

Bij spoelen voor hoge frequenties bouwt men de kern op uit ijzerpoeder dat door een of ander bindmiddel tesamen gehouden wordt. (zie fig. 14). Dit zijn de ijzerkernen die men dikwijls in afstemspoelen ziet en waarmede men de zelfinductie kan regelen.

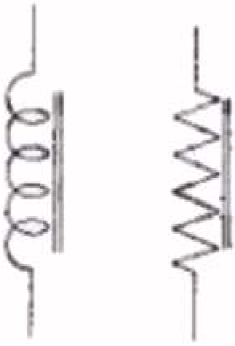


Schets van de doorsnede van een ijzerkern, die uit ijzerpoeder bestaat. Deze kern wordt gebruikt voor H.F. spoelen.

Fig. 14

C. Koperverliezen

Aangezien de spoelen met koperdraad gewikkeld zijn, zullen zij een bepaalde ohmse weerstand bezitten. Door de stroom in de spoel zal in deze draad-weerstand energie (gelijk aan I^2R) verloren gaan. Men zal dus de draad een zo groot mogelijke doorsnede willen geven, om de weerstand zo klein mogelijk te houden; een draad met grotere doorsnede neemt echter meer ruimte in beslag, waardoor de afmetingen van de betreffende spoel veel groter worden. In practische constructies zal men dus steeds naar een zo gunstig mogelijk compromis tussen deze 2 tegenstrijdige eigenschappen zoeken.



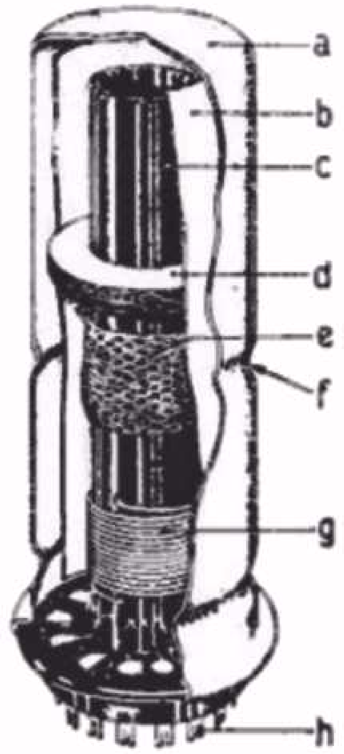
Twee voorstellingen van spoelen met ijzerkern.

Fig. 15

39. Het afschermen van spoelen

Zoals reeds aan het begin van deze les werd beschreven, bevindt zich rondom elke spoel een magnetisch veld, dat in elke zich in de nabijheid bevindende spoel een spanning induceert. Dit is dikwijls ongewenst, zodat men naar middelen heeft gezocht om deze ongewenste

inductie op te heffen. De oplossing hiervoor is een afschermende koker van goed geleidend materiaal, bijv. koper of aluminium voor spoelen voor hoge frequenties en ijzer voor spoelen voor lage frequenties. De afscherming van H.F. spoelen berust op het ontstaan van electrische inductiestromen, die een veld opwekken, dat tegen-



Tekening van een complete samengestelde spoel met afscherming.

a = afschermkoker.
b = isolatie tussen de spoel en de afschermkoker.
c = spoelkoker van isolatiemateriaal.
d = spoel met een hoogkant kruiswikkeling
e = spoel met een meelopend geslingerde wikkeling.
f = ril voor instellen van de zelfinductie van spoel e.
g = spoel met cylindrische wikkeling.
h = aansluitcontacten van de verschillende spoelen.

Fig. 16

gesteld is aan het oorspronkelijke veld. Deze inductiestromen zullen des te sterker zijn, naarmate de afschermende koker zich dichter bij de spoel bevindt. Hierdoor zal echter het tegenwerkende veld ook sterker worden, waardoor het oorspronkelijke veld, en dientengevolge ook de zelfinductie van de spoel, achteruit gaan. Men maakt hiervan in de fabricage gebruik, voor de afregeling van de juiste zelfinductie van de spoel. Men brengt ter hoogte van de spoel een ril aan. Deze ril brengt de afscherming dichter bij de spoel, waardoor dus de zelfinductie iets verkleind wordt. Afhankelijk van de diepte van de ril zal de zelfinductie van de spoel meer of minder verkleind worden (zie fig. 16 f).

40. Constructie van spoelen en transformatoren

De spoelen en transformatoren kan men naar hun gebruik en constructie in 2 groepen verdelen:

A. Spoelen en transformatoren voor hoge frequenties.
B. Spoelen en transformatoren voor lage frequenties.

De spoelen uit de eerste groep hebben een veel lagere zelfinductie dan die uit de tweede groep. Tevens mag van de HF spoelen en transformatoren geen grote eigen-capaciteit aanwezig zijn. *)
Om deze redenen zijn de H.F. spoelen en transformatoren anders geconstrueerd dan de L.F. spoelen.

A. H.F. spoelen en transformatoren

Wij zullen hier volstaan met de behandeling van de constructie van H.F. spoelen, daar de constructie van de H.F. transformatoren in

*) Op het begrip capaciteit komen wij in de volgende les nog uitvoerig terug.

wezen gelijk is aan die van de spoelen. De spoel bestaat uit de volgende gedeelten:

a. Spoelkoker.
b. Wikkeling.
c. Kern.
d. Afscherming.

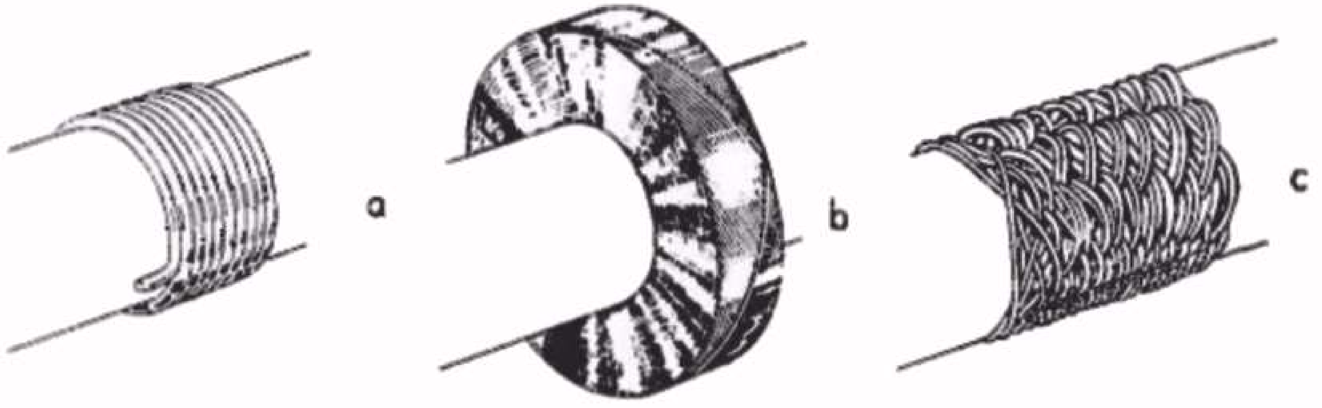
a. <u>Spoelkoker</u>

De spoelkoker is de houder waarop de windingen van de spoel gewikkeld worden. Men heeft echter ook H.F. spoelen die uitsluitend bestaan uit enkele windingen zonder spoellichaam. Dit kan echter alleen gedaan worden bij zeer kleine spoelen met tamelijk dik draad. Men heeft dan het voordeel dat men geen extra verliezen heeft in de koker.

Bij de grotere spoelen is dit echter niet mogelijk, in verband met de te stellen eisen van stevigheid. In die gevallen wordt een koker gebruikt van isolatiemateriaal dat zo min mogelijk verliezen geeft. Materialen die men hiervoor gebruikt zijn o.a. glas, "Philite", polystyreen, pertinax en keramische materialen. De spoelen die de laatste jaren in de radio apparaten worden gebruikt, zijn uitgevoerd in polystyreen. De electrische eigenschappen van dit materiaal zijn zeer goed. Tevens is het bij reparatie mogelijk de nieuwe spoel op een eenvoudige wijze op het chassis te bevestigen (in sommige typen apparaten worden de spoelen met behulp van een soldeerbout in een daarvoor in het chassis aanwezig gat vastgezet).

b. <u>Wikkeling</u>

Er bestaan verschillende methoden voor het wikkelen van de spoel. De op het ogenblik meest gebruikte wikkelmethoden zijn:



Schetsen van drie verschillende wikkelmethoden van H.F. spoelen.

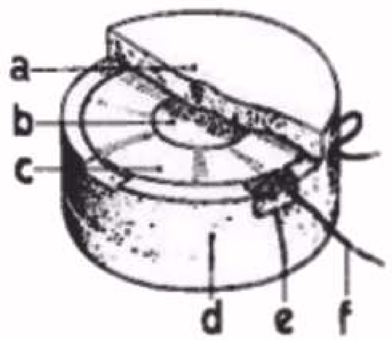
a cylindrische wikkeling
b hoogkant kruiswikkeling
c meelopend geslingerde wikkeling

Fig. 17

1. De *cylindrische wikkeling*, die meestal voor korte golf spoelen wordt toegepast (zie fig. 17a).
   De windingen worden hierbij naast elkaar gelegd op de spoelkoker. Deze wikkelmethode is practisch alleen toe te passen bij spoelen met een lage zelfinductie, daar de lengte van de spoel anders te groot zou worden. Men zou desnoods enige wikkelingen boven elkander kunnen leggen; dit heeft echter het nadeel van een te sterke vergroting van de eigencapaciteit van de spoel.
2. *De meelopend geslingerde wikkeling*. Deze wikkeling wordt bijvoorbeeld voor de spoelen voor de hoge kortegolfbereiken aan de lage middengolfbereiken toegepast (zie fig. 17c).
   Bij het wikkelen van deze spoelen wordt de draad zodanig op de spoelkoker gewikkeld, dat de spoel er ongeveer uitziet als de vroegere honingraat spoel. Tijdens het wikkelen wordt de wikkeling echter tevens in een richting verschoven, zodat men een langgerekte spoel verkrijgt met weinig lagen.
3. De *hoogkant kruiswikkeling*, die bijv. voor de meeste middengolfbereiken en lange-golfspoelen wordt toegepast (zie fig. 17b). De oude honingraat spoel is o.a. een voorbeeld van deze wikkeling. Deze wikkelmethode maakt het mogelijk een korte dikke spoel te wikkelen zonder gebruik te maken van steunflenzen voor de zijkanten van de spoel.

c. De kern

De kernen die in de H.F. spoelen worden gebruikt hebben tot doel om een bepaalde zelfinductie met een minder aantal windingen te bereiken. Tevens voorziet deze kern in de mogelijkheid om de zelfinductie te regelen, waarvan bijv. veel gebruik gemaakt wordt bij trimmen van het ontvangtoestel. De op het ogenblik het meest in gebruik zijnde kern is een stift, die in en uit de spoel kan worden geschroefd. Deze stift bestaat uit poedermateriaal, waarop reeds in par. 38 B werd gezinspeeld.



Tekening van een spoel met potkern.
a = afsluiting van magnetisch materiaal van de potkern.
b = kern van magnetisch materiaal.
c = spoelwikkeling om de kern "b".
d = omsluitende gedeelte van de potkern.
e = uitsparing in de potkern voor het doorvoeren van de aansluitdraden van de spoel.
f = aansluitdraad van de spoel.

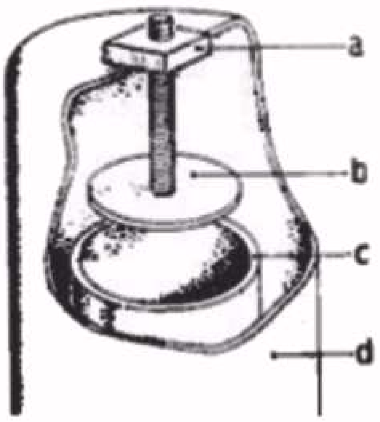
Fig. 18

Men komt ook wel kernen tegen die afwijken van bovenstaande constructie zoals de potkern (zie fig. 18) en de zog. H-kern. Beide kernen komen echter betrekkelijk weinig voor in ontvangtoestellen constructies.

d. De afscherming

De afscherming dient om een ongewenste koppeling tussen de verschillende spoelen te voorkomen. De afschermbus moet uit één geheel bestaan, omdat de weerstand zo klein mogelijk moet zijn. Men zal dus een naad in de bus vermijden, omdat er dan gevaar bestaat voor overgangsweerstanden. De afschermbus dient steeds goed te worden geaard.

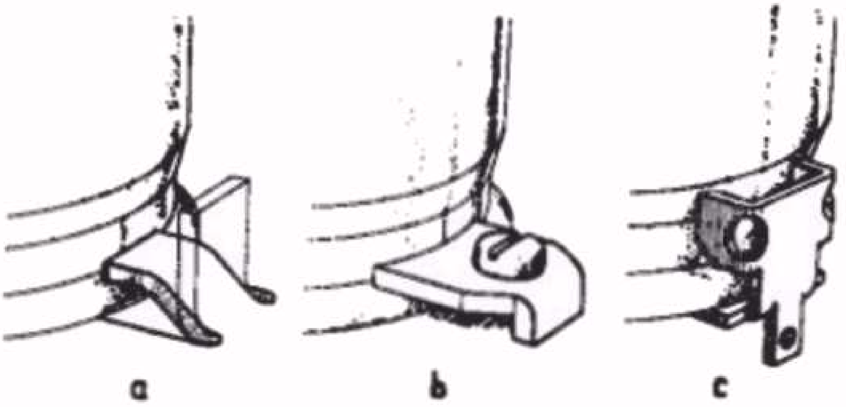
Aangezien het bij massaproductie niet mogelijk is, om zonder bijzondere maatregelen volkomen gelijke spoelen te maken, heeft men bijzondere voorzieningen getroffen om aan het einde van de bewerking de zelfinductie van de spoelen te kunnen instellen. Dit instellen van de zelfinductie kan bijv. gedaan worden met behulp van de in de spoel aanwezige kern. Niet alle spoelen zijn echter uitgevoerd met een instelbare kern. Men maakt daarom gebruik van rillen in de spoelbus waarvan reeds in par. 39 sprake was.
In vroegere constructies maakte men gebruik van een klein koperen plaatje boven in de spoelbus (zie fig. 19). De afstand van het plaatje _b_ tot de spoel _c_ kon worden ingesteld met een stift. Was de juiste zelfinductie bereikt, dan werd de stift aan de bus gesoldeerd. (a.



Schets van een spoel, waarbij de instelling van de zelfinductie geschiedt door middel van een koperen plaatje "b" dat zich boven de spoel "c" bevindt. Door de afstand tussen het plaatje en de spoel kleiner of groter te maken, wordt de zelfinductie resp. kleiner of groter.

Fig. 19

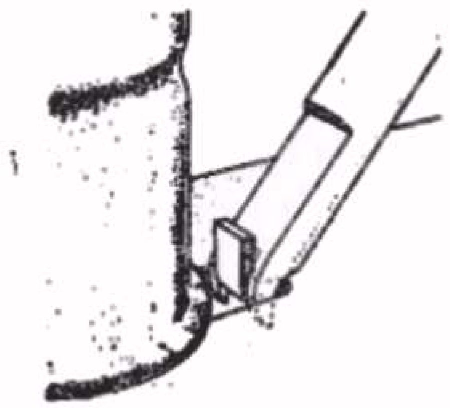
Voor de bevestiging van de spoelen op het chassis bestaan uiteraard verschillende manieren. In fig. 20a - c zijn enige veel gebruikte methoden weergegeven. Men dient er bij het bevestigen van de spoelbussen op het chassis op te letten, dat de bussen goed vast zitten



Drie verschillende bevestigingsmethoden voor H.F.spoelen.
a. Met behulp van een lip die in het chassis is uitgespaard. Men gebruikt hiervoor een zgn. koevoet (zie fig. 21).
b. Met behulp van een klem met bout.
c. Met behulp van een klem die men met een tang vastdrukt. Dit geschiedt bij chassis van Philite, en als een lip van de bevestigingsmethode onder a is afgebroken. Fig. 20

en niet gemakkelijk bewegen. Door deze bevestiging is de spoelbus meestal automatisch via het chassis geaard; een slechte aarding kan nl. een hinderlijk kraken tot gevolg hebben. Moet bij een reparatie van een apparaat een defecte spoel door een nieuwe worden vervangen, dan is het om bovenstaande reden steeds aan te bevelen, de bus

van de nieuwe spoel licht aan te tikken met een rubber hamertje. Bij deze proef moet het gerepareerde apparaat natuurlijk ingeschakeld zijn op het golfgebied, waarin de nieuwe spoel werkzaam is. Tevens geeft dit een goede controle van de lassen die aan de spoellippen gemaakt zijn (het rubber hamertje moet licht zijn en kan bestaan uit een rubber tule van maximaal 10 gram, dat bevestigd is op een stukje hout ter lengte van ca. 14 cm).



Illustratie van het gebruik van de koevoet voor het bevestigen van een spoel met lippen. (fig. 20a)

Fig. 21

Bij losse spoeltjes, bijv. van de sperkring kan het voorkomen, dat de uitlopers van de spoel moeten worden gesoldeerd. Als het einde van de spoeldraad vertind is, geeft het solderen geen moeilijkheid. Moet er echter een nieuwe las worden gemaakt, dan kan dit moeilijkheden geven als de draad van de spoel uit litze bestaat. Men moet dan te werk gaan zoals in par. 7A is beschreven.

B. Transformator voor lage frequenties

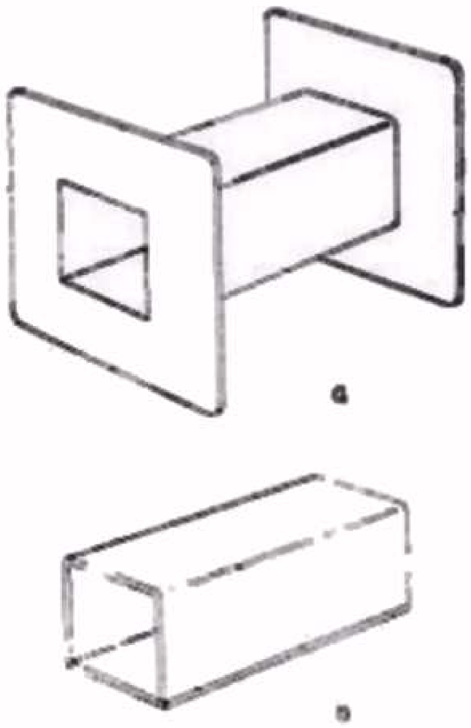
De L.F. transformator kan in 2 groepen worden verdeeld: de voedingstransformator en de koppelingstransformator. De voedingstransformator wordt gebruikt om het toestel aan te sluiten op het wisselspanningsnet. De koppelingstransformator wordt gebruikt als koppelelement of als aanpassingstransformator voor de luidspreker voor een frequentiegebied van ca. 25 Hz tot ca 16000 Hz.

De belangrijkste bestanddelen van de transformator zijn:
a. de wikkelingen
b. de spoelkoker
c. de kern.

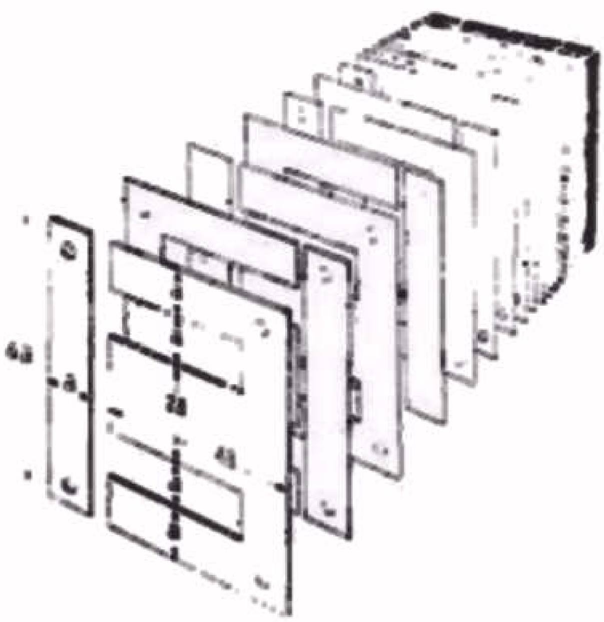
ad. a. De wikkelingen bestaan uit een aantal windingen, die in lagen boven elkander worden aangebracht. De draadsoort voor deze wikkeling is meestal geëmailleerd koperdraad of met katoen omsponnen koperdraad Tussen de lagen van de wikkeling wordt een strook isolatiepapier aangebracht om kortsluiting tussen de wikkelingen te voorkomen.

ad. b. De spoelkoker is een hard-papieren houder die soms met flenzen aan de zijkant is uitgerust (zie fig. 22). Op deze koker worden de windingen aangebracht. Bij de voedingstransformator worden de flenzen meestal weggelaten, daar dan de afkoeling van de transformator beter is.

ad. c. De kern bestaat uit een aantal dunne van elkander geisoleerde plaatjes van gegloeid dynamoblik (fig. 23). Dit materiaal wordt tegenwoordig voor bijna alle transformatoren gebruikt, wegens de goede eigenschappen. Door het gloeien van het blik ontstaat tegelijkertijd een oxyde huidje dat als isolatie



Spoelkokers voor L.F.Transformatoren
a. met zijflenzen
b. zonder zijflenzen. Fig. 22

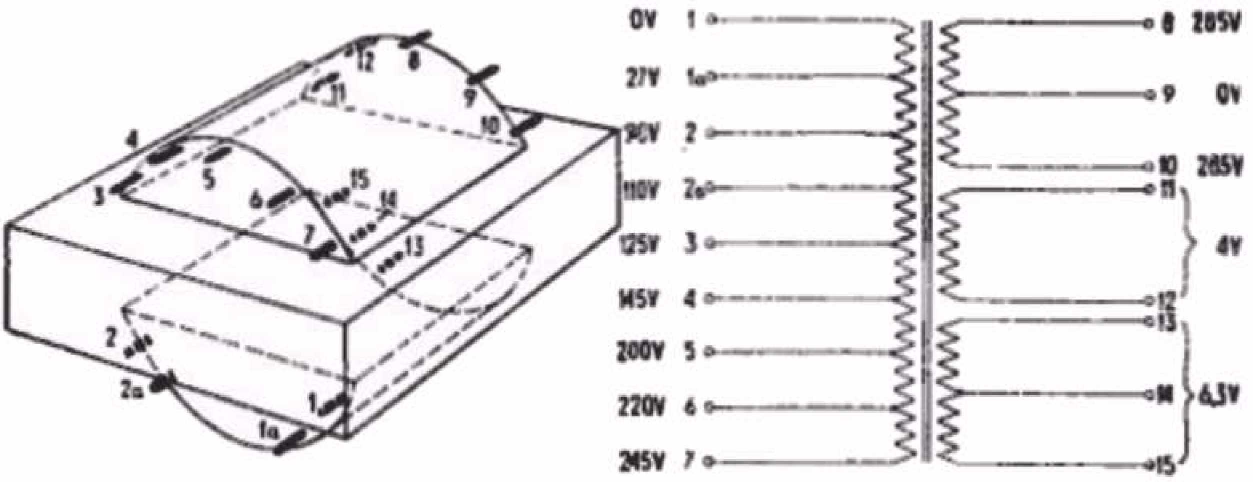


Kernsamenstelling van een Philips standaardvoedingstransformator.
Fig. 23

tussen de plaatjes dienst doet. Deze isolatie is noodzakelijk om de gevolgen van de wervelstromen te beperken.
Men heeft vele vormen van kernen. In de tegenwoordige constructies van transformatoren wordt meestal het zog. E blik gebruikt. De blikken worden om en om in elkander gevlochten, zoals in fig. 23 wordt getoond.

Om de transformator te beschermen tegen de invloed van vocht, wordt hij gecompoundeerd. Compounderen is het doordrenken van de gehele transformator met een teerachtige stof. Dit behoedt de windingen en het transformatorblik voor trillen en losraken.

De uiteinden van de verschillende wikkelingen zijn bij de transformatoren met flens verbonden aan soldeerpunten of lippen op deze flens; bij andere transformatoren worden draadeinden voor de aansluiting uitgevoerd. Bij de voedingstransformatoren in de Philips ontvangtoestellen wordt tegenwoordig een vaste volgorde aangehouden voor de aansluitlippen. Fig. 24 a en b toont een standaard voedingstransformator die bestaat uit een viertal wikkelingen. De primaire wikkeling (voor aansluiting op de netspanning tot max. 245 V) wordt aangesloten op het wisselspanningsnet. Deze wikkeling is voorzien van verschillende aftakkingen voor andere netspanningen. De ene draad van het netsnoer wordt aan de met 0 gemerkte lip verbonden, de andere draad aan de lip gemerkt met de spanning die overeenkomt met de spanning van het net.
Dit aansluiten geschiedt rechtstreeks of via de schakelaar, spanningscaroussel of zekering. De secundaire wikkeling (2 x 285 V) is voorzien van een middenaftakking en is bestemd voor de hoogspanning van het voedingsgedeelte. De derde wikkeling (4 V) en de vierde wikkeling (6.3 V) zijn de wikkelingen voor de gloeidraad voeding van de gelijkrichterbuis resp. van de andere in het apparaat aanwezige buizen.



a b

a. Gestandaardiseerde aansluitvolgorde van de voedingstransformator in de Philips ontvangtoestellen.
b. Het erbij behorende principeschema met vermelding van de waarden van de spanningen.

Fig. 24

Het kan in sommige gevallen nuttig zijn om globaal te bepalen of een voedingstransformator groot genoeg is om in een bepaald ontvangtoestel te kunnen worden gebruikt. Men heeft hiervoor een eenvoudige vuistregel die luidt: $W = 3\,a^3h = 3 \times a \times a \times a \times h$: Hierin betekent W het te leveren vermogen; h de dikte van de kern voor a ziet men fig. 23. Uit fig. 23 ziet men dat de lengte van de kern 6a is en de breedte 5a. Door het verschil van lengte en breedte te nemen, heeft men de afmeting van a. Deze formule geldt voor tropische gebieden. Voor de andere streken bijv. Europa luidt zij: $W = 4{,}8\ a^3h$.
Beide formules gelden alleen voor het geval dat het opgenomen vermogen over alle wikkelingen van de transformator is verdeeld. Dit staat in verband met de draaddikte van de windingen, die niet zwaarder mogen worden belast, dan waarvoor zij zijn berekend.

De L.F. koppelings-transformatoren zijn in principe op dezelfde wijze geconstrueerd als de voedingstransformatoren. Aangezien de L.F. transformatoren voor een veel kleiner vermogen berekend hoeven te worden, zijn de afmetingen hiervan veel kleiner dan die van de voedingstransformator. Tengevolge van het kleinere vermogen zal de warmteontwikkeling ook geringer zijn, zodat men deze transformatoren dikwijls in een omhulling van blik bouwt. Men kan bij deze constructie het impregneren zorgvuldiger uitvoeren dan bij de open constructie.

SAMENVATTING

1. Wisselstromen zijn met elkander in faze als hun 0-waarden en hun maximale waarden op dezelfde tijdstippen optreden.

2. Onder fazeverschuiving verstaat men het verschijnsel, dat twee stromen of een stroom en een spanning na elkander beginnen; de 0-waarden en de maximale waarden treden dan niet op dezelfde tijdstippen op.

3. De fazeverschuiving wordt in graden uitgedrukt. Bij een fazeverschuiving van 180° spreekt men van tegenfaze.

4. Een ohmse weerstand, op een wisselspanning aangesloten, doet een wisselstroom ontstaan die in faze is met de aangelegde spanning.

5. De weerstand die een spoel aan een wisselstroom biedt, noemt men wisselstroomweerstand (of reactantie). Deze weerstand is gelijk aan:

   $$X_L = 2\pi f L = 6,28\ fL$$

   waarin f = frequentie in Hz

   L = zelfinductie in Henry.

6. Sluit men op een spoel een wisselspanning aan, dan ontstaat er een wisselstroom die 90° op de aangelegde spanning naijlt.

7. Als men een spoel in het magnetisch veld van een andere spoel brengt, noemt men deze twee spoelen gekoppeld. Door deze koppeling zal een stroom in de eerste spoel een spanning in de tweede spoel induceren. Het omgekeerde heeft echter ook plaats. Men noemt dit verschijnsel wederzijdse inductie.

8. De eenheid van wederzijdse inductie (M) heeft men als een stroomverandering van 1A per seconde in de ene spoel een inductiespanning van 1 V in de andere spoel opwekt. De wederzijdse inductie drukt men in Henry uit.

9. De totale zelfinductie van twee in serie geschakelde spoelen, die niet met elkander zijn gekoppeld, is gelijk aan de som van deze zelfinducties.

10. De totale zelfinductie van twee parallel geschakelde spoelen, die niet met elkander zijn gekoppeld, is gelijk aan het product van de zelfinducties van die spoelen gedeeld door de som van de zelfinducties.

11. Zodra twee in serie geschakelde spoelen met elkander zijn gekoppeld, bedraagt de totale zelfinductie:

    $$L_{tot} = L_1 + L_2 + 2M \text{ (meegekoppeld)}$$

    of

    $$L_{tot} = L_1 + L_2 - 2M \text{ (tegengekoppeld)}$$

12. Onder een transformator verstaat men een toestel waarmede het mogelijk is een lagere wisselspanning om te zetten in een hogere, of omgekeerd.

13. De transformatieverhouding van een transformator is gelijk aan de windingsverhouding.

$$\frac{E1}{E2} = \frac{n1}{n2}$$

14. In een spoel, waarin een wisselstroom vloeit, kunnen de volgende verliezen optreden:

    a. verliezen ten gevolge van het huideffect (HF-verliezen);
    b. verliezen door wervelstromen (LF en HF-verliezen);
    c. koperverliezen door de ohmse weerstand van de draad.

15. Men schermt spoelen af om te voorkomen, dat ze op naburige geleiders en spoelen inducerend kunnen werken. Deze afscherming berust op het ontstaan van wervelstromen in het scherm. Het veld van deze wervelstromen werkt het veld van de spoel tegen.

16. Men maakt van deze tegenwerking van de wervelstromen gebruik om in de fabricage de zelfinductie in te stellen. Bij de moderne spoelen geschiedt dit door het rillen van de afschermbus.

17. Men onderscheidt o.a. de volgende drie wikkelmethoden bij H.F.-spoelen:

    a. de cylindrische wikkeling (voor kortegolfspoelen);
    b. de meelopend geslingerde wikkeling (voor de spoelen voor de hoge kortegolfbereiken en de lage middengolfbereiken);
    c. de hoogkant kruiswikkeling (voor de middengolfbereiken en het lange golfgebied).

VRAGEN EN VRAAGSTUKKEN

1. Hoe komt het, dat de kern van de smoorspoel een schroevendraaier aantrekt?

2. De primaire wikkeling van een voedingstransformator heeft een zelfinductie van 40 H. Zij wordt aangesloten op de netspanning van 220 V met een frequentie van 50 Hz. Welke stroom zal er door de wikkeling vloeien?

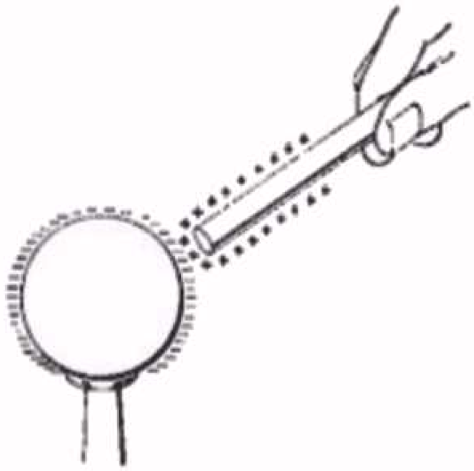
3. Een sinusvormige stroom heeft een maximum waarde van 0,8 A. Wat is de effectieve waarde van deze stroom, uitgedrukt in mA?

4. Een transformator bestaat uit een primaire wikkeling met 1000 windingen en een secundaire wikkeling met 5000 windingen. De primaire wikkeling wordt aangesloten op een spanning van 1 Veff. Hoe groot is de secundaire spanning?

5. Een spoel heeft een zelfinductie van 2mH. Zij wordt aangesloten op een wisselspanning van 1 Veff.
   Hoe komt het, dat deze spoel voor een frequentie van 30 Hz practisch een kortsluiting vormt, terwijl zij voor een frequentie van 500 kHz een zeer grote weerstand vormt?

41. Capaciteit

Een van de oudst bestaande manieren om een potentiaalverschil op te wekken, bestond in het wrijven met een zijden doek van een glazen of ebonieten staaf. Als men met een dergelijke staaf bij een hoopje zeer droge papiersnippers kwam, merkte men dat onder invloed van de staaf de papiersnippers uit elkander dwarrelden. Dit is een gevolg van het feit dat de glazen of ebonieten staaf door het wrijven met de zijden doek een electrische lading heeft gekregen.
Deze lading induceert op de papiersnippers een tegengestelde lading, en aangezien tegengestelde ladingen elkander aantrekken, zullen de papiersnippers naar de staaf toe getrokken worden. Daar nemen zij de lading van de staaf over, waarna zij dus allen dezelfde lading krijgen en dientengevolge elkander afstoten, zodat zij uit elkander dwarrelen.
Als wij de lading van de ebonieten en glazen staaf nader bekijken, blijkt het dat de ebonieten staaf een overmaat aan electronen heeft gekregen, d.w.z. dat ze negatief is geworden, terwijl de glazen staaf een tekort aan electronen heeft, dus positief is geworden.

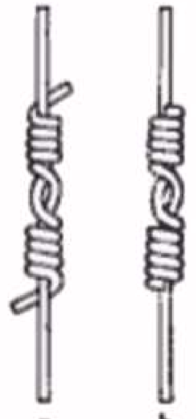


Brengt men een positief geladen staaf in de onmiddellijke nabijheid van een koperen bol die negatief geladen is, dan zal er een aantrekkingskracht tussen de bol en de staaf bestaan.

Fig. 1

Als men een koperen bol, die geïsoleerd is opgesteld, in aanraking brengt met de ebonieten staaf die een negatieve lading heeft, dan blijkt dat de bol eveneens negatief wordt geladen. De koperen bol neemt blijkbaar het teveel aan electronen van de ebonieten staaf over. Als men nu een voorwerp met een positieve lading in de onmiddellijke nabijheid van de bol brengt, zal dit voorwerp door de bol worden aangetrokken. Dit is een gevolg van de aantrekkende werking die er bestaat tussen twee ongelijknamige geladen voorwerpen.

Daar de bol regelmatig van vorm is, zal de lading aan de oppervlakte gelijkmatig verdeeld zijn. Zodra echter een lichaam onregelmatig van vorm is of uitsteeksels toont, is dit niet meer het geval; dan wordt de dichtheid van de lading d.w.z. het aantal electronen per cm^2 het grootst, daar waar het lichaam aan de oppervlakte het sterkst gekromd is. Bij een puntvormig uitsteeksel zal dan ook de ladingsdichtheid het sterkst zijn. Dit merkt men ook in de practijk als men b.v. een lasverbinding maakt en men deze



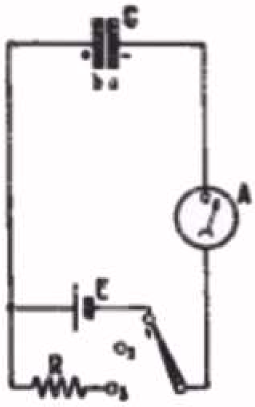
a. Een lasverbinding met uitsteeksels. Aangezien op deze uitsteeksels een grote ladingsdichtheid ontstaat, is de kans van overslag naar een andere geleider groot.
b. De juiste uitvoering van een lasverbinding.

Fig. 2

verbinding niet zorgvuldig genoeg afwerkt (zie fig. 2).
Voert men de verbinding uit volgens fig. 2a, dan kunnen zich op de uiteinden van de puntvormige uitsteeksels grote ladingshoeveelheden verzamelen, waardoor men bij hoge spanningen gemakkelijk overslag kan krijgen tegenover andere in de onmiddellijke nabijheid gelegen geleiders.

Plaatst men 2 geleiders tegenover elkander, waarvan er slechts één geladen is, b.v. negatief, dan blijkt dat deze negatieve lading de andere geleider beïnvloedt. Die andere geleider was neutraal, zodat hierop een positieve en een even grote negatieve lading, die elkanders werking opheffen, aanwezig is. Zodra men nu tegenover deze geleider een negatieve lading plaatst, zal deze negatieve lading de electronen, die immers negatief zijn, afstoten en het positieve gedeelte aantrekken. Het positieve gedeelte keert zich dus als het ware naar de negatief geladen geleider toe. Men noemt dit verschijnsel *statische inductie*. Dit verschijnsel is geheel analoog aan de magnetische inductie die in les 4 is behandeld. Daarin werd beschreven dat een oorspronkelijk neutrale ijzeren staaf gemagnetiseerd werd onder invloed van een magneet. De Noordpool van de magneet trok de Zuidpooltjes van de moleculaire magneetjes in de ijzeren staaf aan en stootte de gelijknamige Noordpooltjes af. Men had hier magnetische inductie.

Voeren wij nu twee geleiders als 2 platen uit die op een geringe afstand evenwijdig van elkander worden geplaatst en schakelen wij deze platen volgens fig. 3, dan zien wij het volgende gebeuren: In de schakelaarstand 1 worden de platen a en b op de batterij E aangesloten. Onmiddellijk na het aansluiten van de batterij zal men de stroommeter A b.v. naar rechts zien uitslaan. Onder invloed van de batterij zal de plaat b een positieve lading krijgen d.w.z. de electronen van de oorspronkelijk neutrale plaat b zullen zich naar de positieve pool van de batterij begeven. Op dezelfde wijze wordt de oorspronkelijk neutrale plaat a via de schakelaar door de batterij negatief geladen. Er ontstaat nu een potentiaalverschil tussen de platen a en b, waarvan de polariteit juist tegengesteld is aan die van de batterij E. Zolang dit potentiaalverschil tussen de platen a en b kleiner is dan de spanning van de batterij E, zal de batterij lading blijven toevoeren aan de platen a en b. Zodra het potentiaalverschil tussen a en b gelijk is aan de spanning E van de batterij, is er evenwicht in de schakeling. Na een bepaald, meestal kort, moment zal men de meter A op zijn 0-stand zien terugkomen.



Schakeling ter demonstratie van het op- en ontladen van een condensator.

Fig. 3

Verbreken wij de verbinding met de batterij (schakelaarstand 2), dan blijft het potentiaalverschil tussen de platen a en b bestaan. Wij beschikken dan over een bepaalde lading die als het ware een reserve is. Men noemt nu een dergelijk stel geleiders, die door een isolerende middenstof zijn gescheiden en die in staat zijn een bepaalde hoeveelheid electriciteit op te bergen, een *condensator*.

Wordt de schakelaar in stand 3 geplaatst, dan zullen de electronen op plaat a hun weg door de weerstand R zoeken om het electronentekort van plaat b aan te vullen. Men krijgt dus een electronenverplaatsing van a naar b. De meter A zal nu juist naar de andere kant uitslaan. De electronenstroom zal blijven lopen tot er geen potentiaalverschil meer bestaat tussen de platen a en b. Men zegt dat de condensator dan ontlaadt; in stand 1 van de schakelaar werd de condensator geladen.

Men kan de werking van de condensator heel goed met die van een gashouder vergelijken. Afhankelijk van de inhoud van de gashouder, dus van de afmetingen, kan hij een bepaalde hoeveelheid gas bevatten. Hoe groter de druk is, waarmede het gas in de houder wordt geperst, des te meer gas zal de gashouder kunnen bevatten. Passen we dit voorbeeld op de condensator toe, dan kunnen we zeggen dat er des te meer ruimte voor de electronen (dus een grotere ladingshoeveelheid) is naarmate de afmetingen van de platen groter zijn. De ladingshoeveelheid kan verder des te groter zijn naarmate de electronen met meer druk, d.w.z. met een hogere spanning, op de platen van de condensator worden geperst.
De lading, dit is de hoeveelheid electronen, wordt uitgedrukt in Coulomb. Het vermogen van de condensator om electriciteit te verzamelen noemt men de capaciteit die men uitdrukt in de eenheid Farad.
Het verband tussen de lading op de condensator, de spanning en de capaciteit wordt door de volgende formule gegeven:

$$Q = C \times V, \text{ waarin}$$

Q = lading in Coulomb
V = spanning in Volt
C = capaciteit in Farad.

U ziet uit deze formule onmiddellijk dat de lading des te groter is naarmate de capaciteit van de condensator en de spanning op de condensator groter is.
Voor de practijk is de eenheid Farad (afgekort F) te groot en werkt men veel met kleineregrootheden:

$$1 \text{ micro-Farad} = 1\ \mu F = \frac{1}{1.000.000}\ F$$

$$1 \text{ micro-micro-Farad} = 1 \mu\mu F = 1 \text{ pico-Farad} = 1\ pF = \frac{1}{1.000.000 \times 1.000.000}\ F$$

$$1 \text{ pico-Farad} = 1\ pF = \frac{1}{1.000.000}\ \mu F; \text{ dus } 1\ \mu F = 1.000.000\ pF$$

(μ = de griekse letter m)

Men gebruikt soms ook de eenheid nano-Farad = 1 nF = 1.000 pF.
Vroeger werd ook wel de cm gebruikt als eenheid van capaciteit;

1 cm = 0,9 pF en 1 pF = 1,1 cm.

De capaciteit van de condensator (men zou eigenlijk van het bevattingsvermogen van een condensator moeten spreken) is van verschillende factoren afhankelijk:

1. *De oppervlakte* van de tegenover elkander staande geleiders. Hoe groter de oppervlakte is, des te meer ruimte is er aanwezig voor de electronen; dus des te meer lading de platen kunnen bevatten.

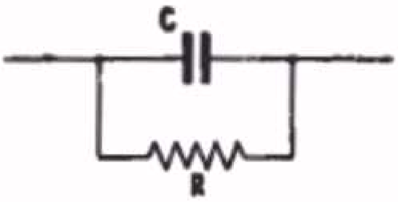
2. *De onderlinge afstand* van de geleiders. Hoe kleiner de afstand tussen de twee geleiders is, des te sterker zal de aantrekkingskracht zijn van de positieve lading van de ene geleider op de negatieve lading van de andere geleider. Maakt men dus de lading op de ene geleider of plaat groter, dan zal bij een kleinere afstand tussen de platen een grotere aantrekkingskracht bestaan, en dientengevolge een grotere tegengestelde lading op de andere plaat worden "geïnduceerd". Dit heeft tot gevolg dat de capaciteit van een condensator des te groter is naarmate de afstand tussen de platen kleiner is.
3. De *isolerende middenstof* tussen de platen. Men noemt dit het *diëlectricum*. Tot nu toe hadden wij stilzwijgend verondersteld dat de twee geleiders of platen door lucht als middenstof of diëlectricum gescheiden waren. Wordt nu in plaats van lucht een ander isolatiemateriaal gebruikt, b.v. mica, dan blijkt dat de condensator bij een zelfde potentiaalverschil tussen de platen een grotere lading kan bevatten. De capaciteit wordt dus groter. Dit verschil in gedrag ten opzichte van lucht drukt men uit in de *diëlectriciteitsconstante;* deze constante geeft aan *hoeveel maal de capaciteit groter wordt, door toepassing van een ander materiaal als diëlectricum, ten opzichte van lucht.*
Heeft b.v. een luchtcondensator een capaciteit van 200 pF, en vervangen wij de lucht als diëlectricum door mica, dan wordt de capaciteit van de nieuwe condensator b.v. 1400 pF. Dit betekent dan dat de diëlectriciteitsconstante van mica $\frac{1400}{200} = 7$ is.

Ter oriëntatie geven wij in onderstaande tabel de diëlectriciteitsconstante van enige isolatiematerialen op, die veel toepassing vinden in condensatorconstructies.

ISOLATIEMATERIAAL	DIËLECTRICITEITSCONSTANTE
Lucht	1
Mica	5-7
Parafine	2-2½
Geparafineerd papier	2-2½
Porcelein	5-7
Glas	5-8
Polystyreen	2½
Keramiek	6-4000 (afhankelijk van de samenstelling)

Wij keren nu weer terug tot het schema van fig. 3. Hierin vervangen wij echter de vaste weerstand R door een variabele weerstand met een hoge waarde b.v. 1 Megohm. Zoals wij in het voorgaande hebben gezien, wordt de condensator in stand 1 van de schakelaar door de batterij geladen; in stand 2 is de condensator geisoleerd en de keten onderbroken en in stand 3 ontlaadt de condensator zich over de weerstand R.
Gaan wij de condensator op- en ontladen bij een zeer kleine waarde van de weerstand R, dan ziet men de meter A snel tot maximum uitslaan en vrijwel onmiddellijk weer in de 0-stand terugkomen. Maken wij de weerstand groter, dan zien we de meter A langzamer op zijn 0-stand terugkomen. De ontlading wordt nu blijkbaar vertraagd door de aanwezigheid van de grotere Ohmse weerstand R.

Zetten wij de schakelaar in stand 2, zodat de keten wordt onderbroken, dan zou de lading op de condensator ongewijzigd moeten blijven. Het blijkt echter dat, als de schakelaar geruime tijd in stand 2 blijft staan, toch nog enige lading van de condensator afvloeit.
Dit kan zijn oorzaak hebben in een onvoldoende isolatie van de schakelaar, zodat de keten niet geheel onderbroken was; een andere oorzaak kan echter zijn dat de condensator zelf een zekere lek vertoont. Tot nu toe hadden wij aangenomen dat het diëlectricum tussen de platen van de condensator een volkomen isolator was. De practische isolatiematerialen hebben echter nimmer een volkomen isolerende eigenschap, zodat ze altijd een zekere weerstand, zij het een hoge weerstand, bezitten. Deze weerstand bevindt zich tussen de 2 platen, waardoor dus een weg gevormd wordt voor de lading op de platen. Men noemt dit de lekweerstand van de condensator. Het zal duidelijk zijn dat men er naar zal streven deze lekweerstand zo groot mogelijk te maken, zodat het verlies aan lading zo gering mogelijk is.

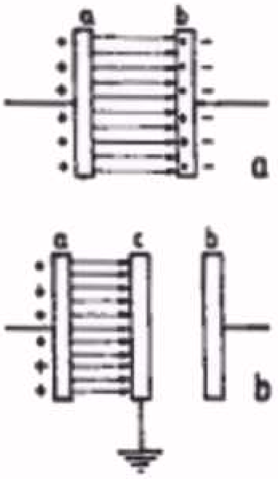


Principiële voorstelling van een condensator met de daaraan parallel geschakelde verlies- of lekweerstand.

Fig. 4

Evenals men een magnetisch veld door krachtlijnen weergeeft, stelt men het veld tussen 2 condensatorplaten door krachtlijnen voor. Men drukt het aantal krachtlijnen per cm^2 uit in de veldsterkte. Men heeft echter voor het begrip veldsterkte bij de condensator ook nog een andere definitie nl. het aantal volt per cm, d.w.z. de spanning over de platen gedeeld door de afstand tussen de platen. Hoe kleiner de afstand is des te groter zal de veldsterkte zijn.

Zoals wij in het voorgaande hebben gezien, ontstaat bij een condensator die uit 2 platen bestaat en waarbij op de ene plaat (in fig. 5a op de plaat a) een lading is gebracht, door de statische inductie, een tegengestelde lading op de andere plaat. Als deze plaat neutraal is, zal deze tegengestelde lading op de zijde tegenover de inducerende plaat komen, en op de andere zijde van de plaat zal zich een even grote lading bevinden die de geinduceerde lading neutraliseert. Brengt men nu tussen deze 2 platen a en b een derde plaat c aan, die men echter niet verbindt, dan zal er in de situatie niets veranderen. Zodra echter de tussengeschoven plaat wordt verbonden met aarde veran-



a. Het veld tussen de condensatorplaten wordt door electrische krachtlijnen voorgesteld.
b. Als men tussen 2 condensatorplaten een derde plaat voegt, en deze plaat aan aarde legt, wordt de capaciteit tussen de buitenste platen opgeheven.

Fig. 5

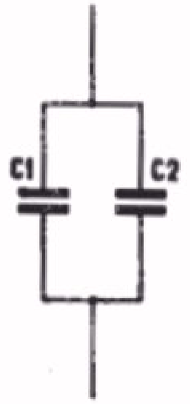
dert de toestand wel. De aarde blijkt nl. beschouwd te kunnen worden als een bron die een oneindig groot reservoir vormt van negatieve en positieve ladingen. Het inschuiven van de derde plaat c heeft dan tot gevolg dat het veld, dat zich oorspronkelijk uitstrekte van plaat a naar plaat b, nu van plaat a naar plaat c loopt. De b.v. positieve lading op plaat a induceert weliswaar een negatieve lading op plaat c, een lading die echter door de oneindig grote capaciteit van de aarde volkomen geneutraliseerd wordt, zodat de invloed van de lading op plaat a naar plaat b volkomen teniet gedaan wordt. Het gevolg is dat de capaciteit tussen de platen a en b nul wordt. De toepassing van dit verschijnsel vinden we o.a. terug bij de schermroosterbuis, waarop wij later terugkomen.

42. Schakelingen van condensatoren

Evenals bij weerstanden kunnen wij condensatoren in serie en parallel schakelen. Beide schakelingsmethoden komen veel in de practijk voor, zodat wij ze thans in detail zullen bekijken.

A. Parallelschakeling van condensatoren (fig. 6)

Wanneer een aantal condensatoren parallel geschakeld wordt, betekent dit dat zij alleen op dezelfde spanning worden aangesloten. Men kan deze schakeling beschouwen als een vergroting van de oppervlakte van de platen. Aangezien de capaciteit evenredig is met het plaatoppervlak, zal bij parallelschakeling de totale capaciteit zoveel groter worden als de plaatoppervlakte groter wordt. *De totale capaciteit wordt verkregen door optelling van alle afzonderlijke capaciteiten der parallel geschakelde condensatoren.* Voor fig. 6 geldt dus:



Twee parallel geschakelde condensatoren.

$C_{tot} = C_1 + C_2$

Fig. 6

$$C_{tot} = C_1 + C_2$$

B. Serieschakeling van condensatoren (fig. 7)

Wanneer men twee condensatoren in serie schakelt, kan het eigenlijk zo beschouwd worden alsof de platen b en c (in fig. 7), met met elkander verbonden, in het diëlectricum tussen de platen a en d zweven. Aangezien de platen b en c nergens mee verbonden zijn, oefenen zij geen invloed uit op het veld tussen de twee buitenste platen. Het gevolg van de serieschakeling is dus dat wij een nieuwe condensator hebben gekregen die gevormd wordt door de platen a en d met een onderlinge afstand, gelijk aan de som van de afstanden ab en cd. Wij hebben reeds in de voorgaande paragraaf gezien dat door een grotere afstand tussen de platen de capaciteit kleiner wordt. Het gevolg is dan ook dat de capaciteit van twee in serie geschakelde condensatoren steeds kleiner wordt dan de capaciteit van de kleinste

Serieschakeling van twee condensatoren. De totale capaciteit van deze condensatoren wordt kleiner dan die der kleinste van de twee condensatoren.

Fig. 7

der condensatoren. Men kan vrij eenvoudig bewijzen (het bewijs laten wij eenvoudigheidshalve achterwege) dat de totale capaciteit van in serie geschakelde condensatoren op dezelfde wijze wordt berekend als de parallelschakeling van weerstanden (zie paragraaf 12, les 2). Men krijgt dus voor de formule van de totale capaciteit:

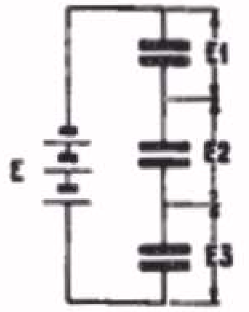
$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad \text{enz.}$$

Voor 2 condensatoren in serie kan men bovenstaande formule tot de volgende meer eenvoudige formule terugbrengen:

$$C_{tot} = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

De totale capaciteit van 2 in serie geschakelde condensatoren is dus gelijk aan het product van de capaciteiten van deze condensatoren gedeeld door hun som.

Men ziet uit fig. 8 dat de spanning over de in serie geschakelde condensatoren zich over deze condensatoren verdeelt. De som van de spanningen over deze condensatoren zal natuurlijk weer gelijk zijn aan de totale spanning. Hierin schuilt de verklaring, waarom men soms in de practijk condensatoren in serie schakelt. Men heeft b.v. voor het voedingsgedeelte van een versterker een condensator nodig met een capaciteit van 25 uF bij een spanning van 800 V. Er zijn echter alleen condensatoren beschikbaar voor 400 V. Men schakelt nu 2 condensatoren van 50 uF, geschikt voor 400 V, in serie, zodat de totale capaciteit 25 uF wordt. Op deze wijze heeft men dus de gewenste capaciteit bij de hoge spanning van 800 V verkregen door gebruik te maken van 2 condensatoren met een lagere spanning. Bij dit voorbeeld zijn wij echter uitgegaan van condensatoren zonder lekweerstand. In werkelijkheid heeft elke condensator een zekere, zij het hoge, lekweerstand. Dit heeft tot gevolg dat de spanningsverdeling over in serie geschakelde condensatoren in feite niet wordt bepaald door de waarde van hun capaciteit, doch door de waarde van hun lekweerstand. Aangezien men met de waarde van deze lekweerstand altijd met een zekere tolerantie moet rekenen, overbrugt men de in serie geschakelde condensatoren met vaste weerstanden die klein zijn ten opzichte van de lekweerstanden.



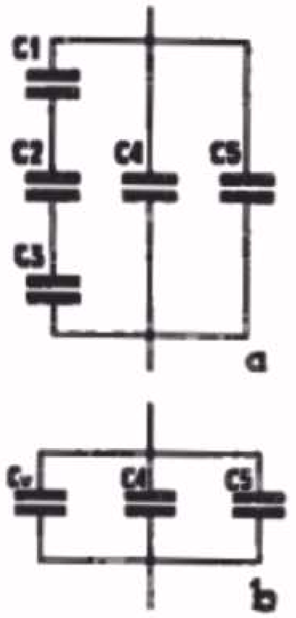
De spanning over in serie geschakelde condensatoren verdeelt zich zodanig over de condensatoren, dat de som van de spanningen over die condensatoren gelijk is aan de totale spanning.

Fig. 8

C. Gemengde schakeling van condensatoren

Behalve in parallel en in serie-schakeling, kunnen de condensatoren ook in een zg. gemengde schakeling voorkomen. In dit geval is de schakeling opgebouwd uit een aantal condensatoren, waarvan er sommige met elkander in serie staan en andere parallel. Voor de berekening van de totale vervangingscapaciteit van een dergelijke combinatie moet men dan steeds de condensatoren, die met elkander

in serie of parallel staan, door een enkele condensator vervangen. Op deze wijze maakt men de schakeling steeds eenvoudiger zodat men tenslotte een enkele parallelschakeling overhoudt. We willen dit



a. Een combinatie van serie- en parallel-schakeling van condensatoren.
b. Vervangingsschema van fig. 9a, waarvan de 3 in serie geschakelde condensatoren C_1, C_2, C_3 vervangen zijn door de capaciteit C_v.

Fig. 9

illustreren met de schakeling van fig. 9a. Hierin gaat men eerst de tak met de in serie geschakelde condensatoren C_1, C_2 en C_3 vervangen door de vervangingscapaciteit C_v. Hiervoor geldt dan:

$$\frac{1}{C_v} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Men kan nu de schakeling van fig. 9a vereenvoudigen tot die van fig. 9b. Hierin kan men nu de parallel geschakelde capaciteiten C_v, C_4 en C_5 zonder meer optellen, waarna men de totale vervangingscapaciteit van de schakeling van fig. 9a heeft.
Stel dat de condensatoren in fig. 9a de volgende waarden hebben:

$C_1 = 4\mu F \quad C_2 = 8\mu F \quad C_3 = 8\mu F \quad C_4 = 2\mu F \quad C_5 = 1\mu F$

De vervangingscapaciteit van C_1, C_2 en C_3 berekenen we uit:

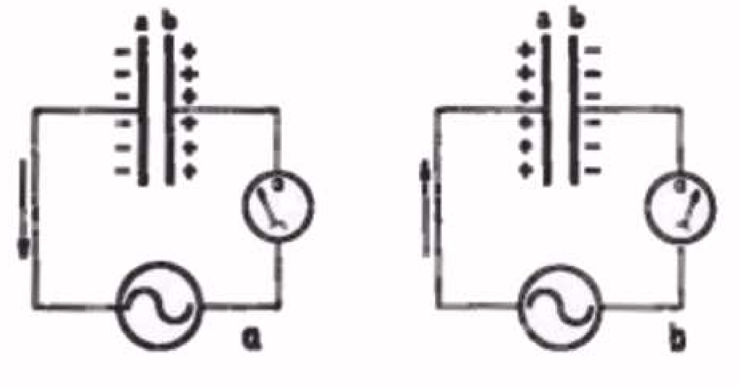
$$\frac{1}{C_v} = \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{8} = \frac{4}{8} = \frac{1}{2} \quad ; \text{ dus } C_v = 2\mu F$$

De totale capaciteit is nu gelijk aan:

$$C_{tot} = C_4 + C_5 + C_v = 2 + 1 + 2 = 5\mu F$$

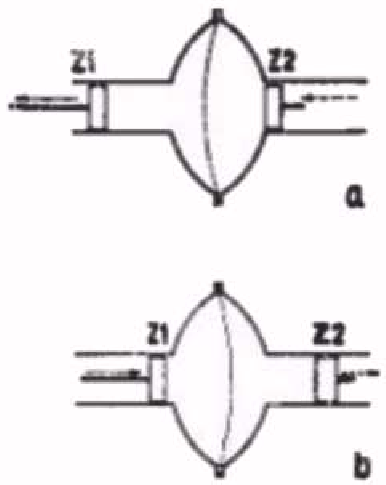
43. Het gedrag van een condensator op een wisselspanning.

Wij hebben in de voorgaande paragraaf gezien, dat een condensator geen stroom doorlaat. Hij bestaat immers uit 2 platen met een isolator er tussen. De meter toonde weliswaar bij het inschakelen een stroom aan, doch zodra de condensator was opgeladen, ging de meter in zijn 0-stand terug.



Twee fazen van de op- en ontlading van een condensator, als deze op een wisselspanning wordt aangesloten. Ten gevolge van de wisselende op- en ontlading vloeit er in de keten een heen en weer gaande stroom. Fig. 10

Wat gebeurt er nu als wij een condensator aansluiten op een wisselspanning? Wij zullen dit bekijken aan de hand van fig. 10, waarin een condensator via een wisselstroom-ampèremeter op een wisselspanning is aangesloten.
Men ziet dan het eigenaardige gebeuren dat de meter uitslaat, en zolang de wisselspanning aangesloten blijft, niet op zijn 0-stand terugkomt. Er loopt dus blijkbaar een stroom in de keten, ondanks het feit dat deze keten door het isolerend diëlectricum van de condensator is onderbroken. Om dit verschijnsel te verklaren nemen wij eerst als voorbeeld een "mechanische" condensator (fig. 11).
Deze condensator is opgebouwd uit 2 metalen schalen (komvormig) die met hun holle zijden zo tegen elkander zijn aangedrukt dat zij luchtdicht aaneensluiten. Tussen de schalen is echter een rubber vlies gespannen. Elk der schalen heeft in de zijkant een opening die in een buis uitmondt, waarin zich een zuiger bevindt. De ruimten tussen de zuigers en het vlies is gevuld met lucht. Bevinden de zuigers Z_1 en Z_2 zich in rusttoestand, d.w.z. is de afstand van beide zuigers tot aan het vlies gelijk, dan zal er geen druk op het vlies worden uitgeoefend. Nu bewegen wij de zuiger Z_1 in de richting van het vlies. De lucht tussen de zuiger Z_1 en het vlies zal samengeperst worden en onder invloed hiervan zal het vlies naar rechts doorbuigen. Dit heeft weer tot gevolg dat de lucht in de rechterkamer tussen vlies en zuiger Z_2 samengeperst wordt, waardoor de zuiger Z_2 naar rechts gedrukt wordt. De lucht aan de andere zijde van deze zuiger zal dientengevolge naar buiten gedrukt worden. Men krijgt dus een luchtverplaatsing in het buizenstelsel, ondanks het feit dat het vlies de lucht niet doorlaat.



Mechanisch voorbeeld ter demonstratie van het gedrag van een condensator voor wisselstroom.

Fig. 11

Bewegen we nu de zuiger Z_1 terug, dan zal een luchtverdunning tussen Z_1 en het vlies ontstaan en het vlies naar links getrokken worden. De zuiger Z_2 zal zich naar links verplaatsen en men krijgt een luchtverplaatsing in het buizenstelsel naar links; dus juist tegengesteld aan de richting van de eerste keer. Halen we de zuiger Z_1 op deze wijze regelmatig op en neer, dan zullen wij dus een heen-en-weer-gaande luchtstroming in de buis constateren.

We willen thans dit mechanische voorbeeld toepassen op de schakeling van fig. 10. In de eerste faze van de wisselspanning worden de platen van de condensator b.v. volgens fig. 10a opgeladen; de plaat a krijgt een negatieve lading en de plaat b een even grote positieve lading. Deze lading zal maximaal zijn zodra de wisselspanning in haar eerste faze haar maximum waarde heeft bereikt. De stroom is dan 0 (de schakeling is in evenwicht). Daarna neemt de wisselspanning af en zal de lading van de condensator naar de wisselspanningsbron terugvloeien. Vervolgens zal de condensator in de negatieve faze in tegengestelde richting worden opgeladen. Men verkrijgt dan de situatie, geschetst in fig. 10b. In de eerste faze liep er een laadstroom in de ene richting; terwijl de stroom in de volgende faze juist een tegengestelde richting heeft. U ziet dat er voortdurend een stroomverplaatsing in de leiding plaats heeft, ondanks

het feit dat de condensator zelf geen stroom doorlaat. Het was deze stroomverplaatsing die de ampèremeter aantoonde.
Men kan nu, analoog aan de wisselstroomweerstand van een spoel, spreken van een wisselstroomweerstand van een condensator (of capacitieve reactantie).
Deze wisselstroomweerstand X_C is gelijk aan:

$$X_C = \frac{\text{wisselspanning}}{\text{wisselstroom}}$$

Neemt men de proef met verschillende condensatoren in de schakeling van fig. 10, dan zal men bemerken dat de stroom des te groter is naarmate de capaciteit van de condensator groter is. Een grotere capaciteit betekent immers dat de condensator een grotere lading kan opnemen. Tengevolge van deze grotere lading zal de stroomverplaatsing dus groter zijn.

Voert men de proef met dezelfde condensator uit, maar met wisselspanningsbronnen met verschillende frequenties, dan bemerkt men eveneens verschillende aanwijzingen van de ampèremeter. Bij een wisselspanning met een hoge frequentie zal de stroom groter zijn dan bij een lagere frequentie. Ook dit verschijnsel kan men direct met behulp van fig. 10 inzien. Als men b.v. een frequentie heeft van 10 perioden per seconde, dan zal een zelfde hoeveelheid electronen 10x per seconde in de leiding heen en weer gaan. Verhoogt men de frequentie tot 50 perioden per seconde, dan heeft er 50x per seconde een heen en weer gaan van de stroom plaats; in dit geval is de totale hoeveelheid verplaatste stroom 5x groter dan in het geval van de wisselspanning met een frequentie van 10 perioden per seconde. Bij een zelfde spanning betekent een grotere stroom een kleinere weerstand. De wisselstroomweerstand van een condensator wordt dus kleiner, naarmate de capaciteit van de condensator en de frequentie van de wisselstroom groter is. Men kan bewijzen dat de wisselstroomweerstand van een condensator gelijk is aan:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{6,28\ fC}$$

waarin f = frequentie in Hz en C = capaciteit in Farad.

Voorbeeld

Een condensator met een capaciteit van 10.000 pF wordt aangesloten op een wisselspanning van 50 V. Hoe groot is de stroom bij een frequentie van 100 Hz en van 10.000 Hz?
De wisselstroomweerstand van deze condensator is voor een frequentie van 100 Hz gelijk aan:

$$\frac{1}{6,28\ fC} = \frac{1}{6,28 \times 100 \times \frac{1}{100.000.000}} = 157.000\ \text{Ohm} = 157\ \text{k}\Omega$$

Bij een frequentie van 10.000 Hz kan men op dezelfde wijze berekenen dat de weerstand slechts 1570 Ohm is.
De wisselstroom wordt in het geval van de frequentie van 100 Hz:

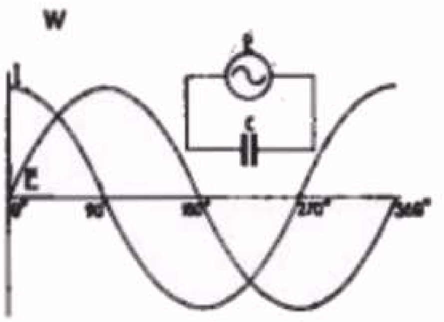
$$I = \frac{E}{X_C} = \frac{50}{157.000} = \text{ruim } 0,0003\ \text{A} = \text{ruim } 0,3\ \text{mA}.$$

Met een frequentie van 10.000 Hz kan men de stroom op dezelfde

wijze berekenen en men verkrijgt dan een waarde van ruim 30 mA.

Uit dit voorbeeld ziet U duidelijk dat de condensator van 10.000 pF voor de lage frequentie van 100 Hz een hoge wisselstroomweerstand heeft; deze weerstand is daarentegen vrij laag bij de honderd maal zo hoge frequentie van 10.000 Hz. Op het verschil in gedrag voor verschillende frequenties komen wij nog in latere lessen terug, aangezien hiervan zeer veel gebruik wordt gemaakt in de radiotechniek.

Wij willen thans nog onderzoeken hoe de stroom en de spanning zich in de keten met een condensator, wat faze betreft, gedragen. Men kan dit vrij eenvoudig inzien als men het op- en ontlaadverschijnsel moment voor moment beschouwt. Hiertoe grijpen wij terug naar fig. 10. Daarbij constateerden wij reeds dat op het moment van de maximale waarde van de spanning de stroom 0 was. Zodra de spanning op de condensator 0 is, en de wisselspanningsbron spanning levert, zal op het eerste moment geen tegenspanning in de keten aanwezig zijn, en dientengevolge de stroom juist maximaal zijn. Naar-



De wisselstroom en -spanning in een keten met een condensator hebben een fazeverschuiving van 90°. De stroom ijlt voor bij de spanning. Tevens is het gedrag van het vermogen W door de stippellijn uitgebeeld, waaruit men ziet dat het vermogen in de ene halve faze aan de condensator wordt toegevoerd, in de andere halve faze door de condensator wordt afgegeven.

Fig. 12

mate de spanning over de condensator, die tegengesteld gericht is aan die van de wisselspanning, toeneemt, zal de stroom afnemen. Men ziet hier dus hetzelfde verschijnsel optreden als bij een zelfinductie, dat de stroom 0 is op het moment dat de wisselspanning haar maximale waarde bereikt en maximaal is als de spanning 0 is. De wisselstroom en -spanning in een keten met een condensator hebben dus een fazeverschuiving van ¼ periode, d.w.z. van 90°. Verder blijkt uit het voorgaande dat de stroom maximaal is als de condensator nog geen tegenspanning heeft gevormd, d.w.z. als de spanning over de condensator 0 is. De stroom ijlt dus vóór bij de spanning, hetgeen precies tegengesteld is aan het gedrag van de spoel, waarbij de stroom juist achter bij de spanning is. Men krijgt voor een condensator dus het beeld van fig. 12.

Men ziet verder uit fig. 10 dat de stroomhoeveelheid die door de wisselspanningsbron in de eerste halve faze voor het opladen van de condensator wordt aangevoerd, in de volgende halve faze weer teruggegeven wordt aan de wisselspanningsbron. Wat de condensator in de ene kwart periode krijgt, geeft hij dus in de volgende kwart periode terug. *Er wordt dus door de condensator geen energie verbruikt.* Ook dit punt is geheel analoog aan wat wij bij de spoel hebben gezien. In fig. 12 is tevens de kromme voor het vermogen getekend. Hieruit blijkt dat dit vermogen per periode 2x positief is en 2x negatief, in totaal dus 0 is.

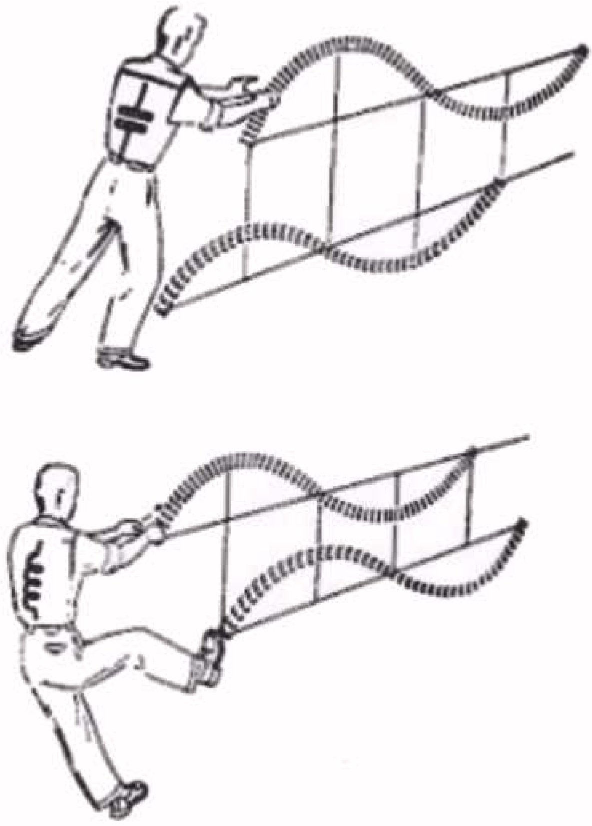
44. Constructies van condensatoren

Afhankelijk van het doel waarvoor condensatoren zijn bestemd, worden de volgende eisen gesteld:

1. De capaciteit moet binnen bepaalde tolerantiegrenzen liggen, d.w.z. hun waarde mag slechts een bepaald bedrag van de opgegeven waarde afwijken.

2. De condensator moet een bepaalde gelijkspanning continu kunnen verdragen (de zogenaamde bedrijfsspanning). Indien hij moet worden gebruikt bij een wisselspanning, wordt tevens de waarde opgegeven van de maximaal toelaatbare amplitude van de wisselspanning.

3. De capaciteit moet zo weinig mogelijk veranderen met de temperatuur.



Illustratie van het verschil in gedrag van een condensator en een spoel bij aansluiting op een wisselspanning.

Fig. 13

4. De condensator moet bestand zijn tegen schokken en trillen, en voor de tropen en andere bepaalde gebieden een hoge temperatuur en een grote vochtigheid kunnen verdragen.

Men verdeelt in de radiotechniek de condensatoren gewoonlijk in 2 groepen:

A. De variabele condensatoren.
B. De vaste condensatoren.

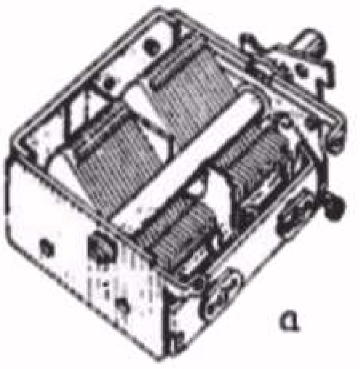
A. Variabele condensatoren

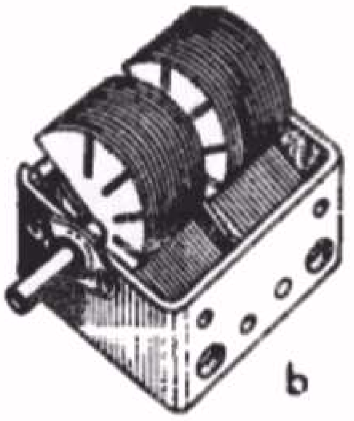
Uit paragraaf 41 hebben we gezien dat de capaciteit van de condensator van 3 factoren afhankelijk is:

1. Van de *oppervlakte* van de tegenover elkander staande platen. Door de oppervlakte te variëren, beschikt men dus over een methode om de capaciteit van de condensator te veranderen.
2. Van de *onderlinge afstand* van de platen. Door deze onderlinge afstand groter of kleiner te maken kan men de capaciteit kleiner resp. groter maken.
3. Van het soort *diëlectricum*.

Bij de practische constructies van deze condensatoren maakt men hoofdzakelijk gebruik van de eerste mogelijkheid, dus van de variatie van de oppervlakte.
Men onderscheidt de variabele condensatoren nog in condensatoren

voor continu variatie (afstemcondensatoren) en in condensatoren die slechts een enkele maal worden ingesteld (trimmers).
Wij zullen ons eerst bij de constructie van de afstemcondensatoren bepalen. De meest gebruikelijke constructie is de zg. draaicondensator (fig. 14), waarbij een aantal platen in meer of minder half

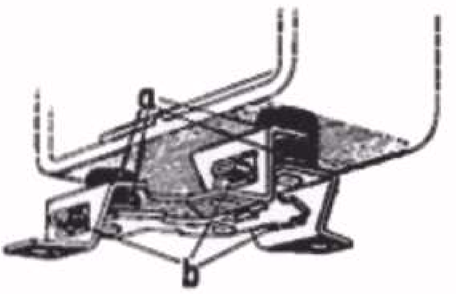




Tekening van een tweevoudige afstemcondensator (draaicondensator).
a. De rotorplaten zijn bijna geheel ingedraaid; de condensator heeft dus bijna zijn max. capaciteit.
b. De rotorplaten zijn uitgedraaid (minimum capaciteit). Men ziet op deze tekening duidelijk de inkepingen van de laatste platen van de condensator, waarmee in de fabriek het capaciteitsverloop van de condensatoren wordt ingesteld.

Fig. 14

ronde vorm vast is opgesteld en waartussen een aantal platen meer of minder kan worden ingedraaid. De maximum capaciteit van deze condensatoren is meestal circa 500 pF. De vaste parallel geschakelde platen worden de statorplaten genoemd. Tussen deze platen draaien de zg. rotorplaten. In de ontvangtoestellen heeft men gewoonlijk meerdere condensatoren op een aandrijfas gekoppeld. Men spreekt dan van 2-voudige of 3-voudige condensatoren.
De rotorplaten worden door middel van een sleepveer op de as in de schakeling aangesloten. In vele gevallen zijn deze platen dan met het gestel van de condensator verbonden. Aangezien een goede aansluiting van de rotorplaten zeer belangrijk is, dient men er steeds op te letten dat bij vervanging van een variabele condensator dezelfde aansluitcontacten worden gebruikt als van de oude condensator.
De buitenste platen van een draaicondensator zijn van inkepingen voorzien. Dit verschaft de fabrikant de mogelijkheid om het capaciteits verloop van de condensatoren onderling precies aan elkander gelijk te maken. Bij de reparatie verbuige men nimmer deze buitenste platen!



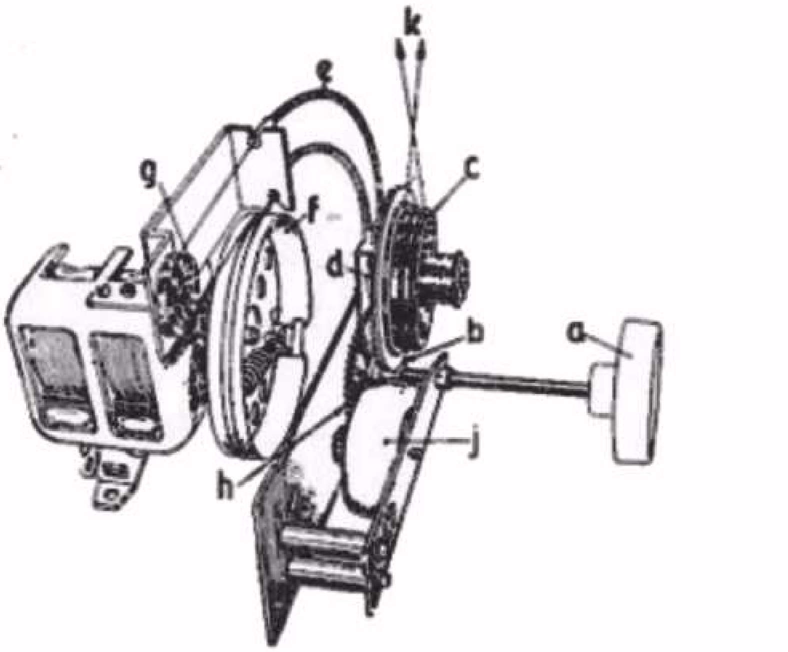
Schets van de onderzijde van een variabele condensator ter illustratie van de bevestiging met verende rubbertules g; de rubberbandjes b zijn aangebracht om tijdens transport de beweging van de condensator te beperken.

Fig. 15

Een belangrijk punt is de mechanische stabiliteit tegen schokken. Daarom worden tegenwoordig de afstemcondensatoren vrijwel algemeen verend op het chassis bevestigd. Fig. 15 laat een verende bevesti-

ging door middel van rubber tules zien. Tevens wordt hiermede de zg. condensator-microfonie voorkomen. Dit is een accoustische terugkoppeling, d.w.z. een terugkoppeling, veroorzaakt door de geluidstrillingen van de luidspreker, die een mechanische trilling, in hetzelfde rhythme van de geluidstrilling, van de condensatorplaten teweeg brengt. Dit uit zich in een loeiend of huilend geluid in de luidspreker.
Om beschadiging van deze bevestiging gedurende transport te voorkomen, wordt de beweging van de condensator door de rubber bandjes b (fig. 15) beperkt.
Het verdraaien van de rotorplaten, dus het instellen op een andere capaciteit, geschiedt door middel van een zg. aandrijfmechanisme. Dit mechanisme wordt meestal met de hand bediend, in een enkele luxe uitvoering door middel van een kleine electromotor.
De handbediening kan nog op 2 manieren plaats hebben: door middel van een draaibare afstemknop en door middel van drukknoppen.

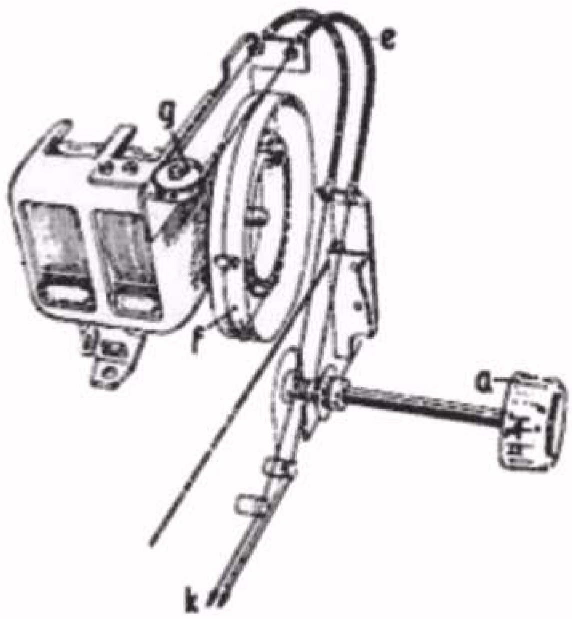
Voor een nauwkeurige afstemming is een grote vertraging in de aandrijving noodzakelijk. Deze vertraging kan worden verkregen door middel van tandwielen, frictieschrijven en snaaroverbrenging.
Figuur 16 laat een voorbeeld zien van een combinatie van frictie- en snaaroverbrenging.



De aandrijving met behulp van frictie- en snaaroverbrenging van een afstemcondensator.
a = afstemknop
b = frictiekoppeling
c = Philite snaarschijf
d = kleine snaarschijf
e = "Bowdenkabel"
f = condensatoraandrijftrommel
g = snaar-overbrengingswieltje
h = tandwieloverbrenging
j = vliegwiel
k = snaar voor de aandrijving van de stationswijzer.

Fig. 16

In verband met de nauwkeurige afstemming worden hoge eisen aan de mechanische constructie van deze aandrijving gesteld. Speling tussen de verschillende delen van het aandrijfmechanisme heeft onmiddellijk zg. "backlash" tot gevolg. Men spreekt van "backlash", indien bij nauwkeurige afstemming op de zender, uitgaande van het ene uiteinde van de stationsnamenschaal een wijzerinstelling wordt gevonden, welke verschilt van die welke gevonden wordt als men uitgaat van het andere einde van de stationsnamenschaal.
Indien in de aandrijving een grote mechanische vertraging is aangebracht, maakt men soms gebruik van een vliegwiel waardoor het afstemmen sneller kan geschieden (zie fig. 16j). Met de condensatoraandrijving is tevens gekoppeld de aandrijving van de naald voor de aflezing van de stationsnamenschaal. Fig. 17 laat nog een voorbeeld van een eenvoudige aandrijving van een der ontvangers uit de populaire klasse zien.
In plaats van een draaibare condensator heeft men een korte tijd ook nog de zg. schuifcondensator toegepast. Hierbij had men de



Het aandrijfmechanisme voor de afstemcondensator en stationsaijzer van een eenvoudige constructie. De letters corresponderen met de tekst van fig. 16

Fig. 17

platen spiraalvormig in elkander gedraaid en werden 2 helften meer of minder in elkander geschoven, waardoor de capaciteit meer of minder werd vergroot (fig. 18).

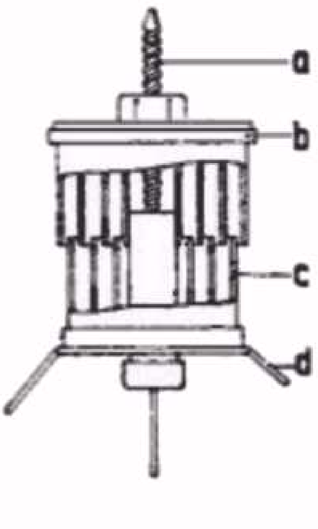
De tweede groep condensatoren, waarvan de capaciteit variabel is, doch waarbij het niet de bedoeling is dat hierbij de capaciteit regelmatig wordt gevarieerd, is de groep van de *afregelcondensatoren of trimmers*. Deze trimmers worden gebruikt om verschillende afstemkringen af te regelen (zie hiervoor ook les 10). Wanneer deze condensatoren eenmaal zijn ingesteld, worden zij meestal met lak verzegeld, zodat zij daarna als een vaste condensator dienst doen. Men onderscheidt de trimmers door hun diëlectricum. De belangrijkste constructies zijn:

Vereenvoudigde voorstelling van de twee helften van een schuifcondensator.

Fig. 18

a. <u>De luchttrimmer</u> (fig. 19)

De luchttrimmer bestaat uit een cylindrische stator, waarin door middel van een schroefspil een eveneens cylindrische rotor kan worden gedraaid. De minimum capaciteit is circa 3 pF, de maximum capaciteit kan zijn 20, 30 of 60 pF (voor speciale gevallen zijn ook wel luchttrimmers met een hogere capaciteitswaarde gebruikt.)



Schets van een luchttrimmer.

a = schroefspil
b = cylindrische rotor
c = cylindrische stator
d = aansluitcontact van het statorgedeelte
e = aansluitcontact van het rotorgedeelte.

Fig. 19

Aangezien als diëlectricum lucht wordt gebruikt, zijn de verliezen van deze trimmers zeer laag. Deze constructie wordt dan ook de laatste jaren algemeen gebruikt. De instelling geschiedt door middel van een zg. trimsleutel van geïsoleerd materiaal.

b. De keramische trimmer (fig. 20)

Deze trimmer bestaat uit een keramisch buisje dat dienst doet als diëlectricum. De electroden worden gevormd door een vertinde messing mantel en een vertind messing staafje dat door middel van een schroefdraad meer of minder in het keramische buisje kan worden gebracht. De verliezen van deze condensator zijn eveneens zeer gering.

Een keramische trimmer.

a = schroef, waarmede een vertind messing buisje "b" in het keramisch buisje "c" (diëlectricum) wordt gedraaid.
d = vertinde messing mantel.

Fig. 20

c. De draadtrimmer (fig. 21)

De draadtrimmer bestaat uit een keramisch buisje dat inwendig is verzilverd en uitwendig voorzien is van een laag dicht op elkander gewikkeld draad. Tussen de zilverlaag en de uitwendig aangebrachte draad bestaat een capaciteit, welke verkleind kan worden door draad af te wikkelen.

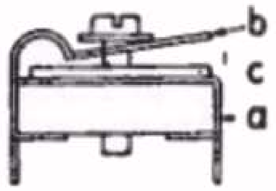
Een draadtrimmer.

Fig. 21

Het voordeel van dit type afregelcondensator is dat zij klein en licht is, en dientengevolge direct in de bedrading van het toestel kan worden aangebracht. Bovendien is de capaciteit, dank zij het keramische diëlectricum, vrij groot nl. enkele honderden pF. Zij hebben echter het nadeel dat de capaciteit alleen kan worden verkleind en niet vergroot, zodat zij meestal slechts eenmaal voor de instelling kunnen worden gebruikt.

d. De mica trimmer (fig. 22)

Aangezien deze trimmer vroeger veel werd gebruikt, willen wij deze constructie niet onvermeld laten. Hij bestaat uit één of meer hard-papieren of keramische plaatjes, waarop zich een plaatje a van geleidend materiaal bevindt. Op dit plaatje ligt het mica plaatje c en daarboven een verend geleidend plaatje b. Het plaatje c vormt het diëlectricum, de plaatjes a en b zijn de electroden. Door het plaatje b meer of minder in te draaien, waardoor dus de afstand tussen de plaatjes a en b groter of kleiner wordt, kan de capaciteit worden geregeld.



Eenvoudige constructietekening van een micatrimmer. De plaatjes "a" en "b" zijn de electroden. Het plaatje "c" vormt het diëlectricum.

Fig. 22

Aangezien deze trimmers niet stabiel zijn, worden zij de laatste jaren slechts weinig gebruikt.

B. Vaste condensatoren

Zoals de naam het reeds zegt, bezitten deze condensatoren een vaste capaciteit die niet kan worden veranderd. Ook deze condensatoren onderscheidt men naar hun diëlectricum.
De belangrijkste constructies zijn:

a. De mica condensator

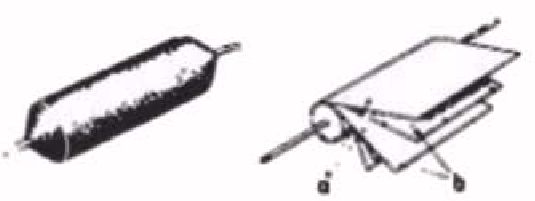
Het diëlectricum bestaat uit dunne micaplaatjes van hoge kwaliteit die aan een zijde gedeeltelijk bedekt zijn met een zilverlaagje. (fig. 23a). Afhankelijk van de capaciteit bevatten zij meer of minder plaatjes, waarvan de electroden parallel geschakeld worden. Na het samenstellen wordt deze condensator in speciale was gedompeld, waardoor zij afgeschermd is tegen de invloed van vocht en temperatuursveranderingen.

a. Eenvoudige voorstelling van de samenstelling van een vaste micacondensator.
a = dunne micaplaatjes
b = zilverlaagjes, die tezamen de ene electrode vormen
c = zilverlaagjes, die tezamen de andere electrode vormen.
b. Voorbeeld van een micacondensator, waarbij een gedeelte van het compound is verwijderd om het binnenwerk te laten zien. Fig. 23

Aangezien de verliezen van deze condensatoren gering zijn, worden zij vooral gebruikt in schakelingen met hoge frequenties (oscillatorkringen, M.F.bandfilters) of waar weinig lekverlies belangrijk is. Er komen capaciteitswaarden tussen 10 en 1000 pF voor. In één van de uitlopers van de Philips mica condensatoren is steeds een deukje aangebracht. Dit geeft aan dat deze uitloper verbonden is met het buitenste bekleedsel van de condensator. Deze aansluiting moet daarom steeds aan de aardzijde in de schakeling worden verbonden. Tenslotte zij nog vermeld dat de temperatuurs-coëfficiënt van dit type condensator positief is, d.w.z. dat bij temperatuursverhoging de capaciteit iets zal toenemen.

b. De papiercondensator

Deze condensatoren worden in het ontvangtoestel en de versterker veel gebruikt. Zij komen meestal voor in 2 uitvoeringen: In een ronde vorm, genaamd rolblokcondensator of persblokcondensator (fig. 24) en in doosvorm, genaamd dooscondensator (fig. 25).



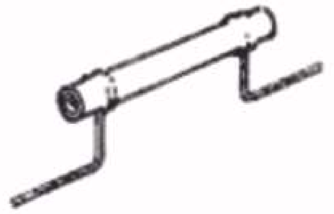
Het uiterlijk van een papiercondensator (persblokcondensator) en een beeld van de samenstelling.
a = geimpregneerde papierstrook als dielectricum.
b = aluminium folie. Fig. 24

Voorbeeld van een dooscondensator.
Fig. 25

De constructies van beide uitvoeringen is dezelfde. Zij bestaat uit 2 aluminium folies (dit zijn heel dunne lagen), waartussen enige lagen geïmpregneerd papier liggen (fig. 24). De aluminium folies zijn de electroden van de condensator, het papier is het diëlectricum. Deze lagen worden in de fabriek met behulp van een wikkelmachine gewikkeld, waardoor een ronde vorm ontstaat. Het gebruikte papier moet aan zeer hoge eisen voldoen; het moet een hoge doorslagspanning hebben, gelijkmatig van dikte en homogeen van samenstelling zijn. Na het wikkelen wordt de condensator geïmpregneerd en tenslotte van een omhulling van compound voorzien, zodat vocht niet bij het inwendige kan komen.
Bij de ronde papiercondensatoren kan men aan de lengte van de aansluitdraden zien, welke draad verbonden is met de buitenste folie. De langste aansluitdraad is met deze folie verbonden en moet bij aansluiting in het chassis met het punt worden verbonden dat het laagste potentiaal ten opzichte van het chassis heeft. In dat geval is het binnenste van de condensator afgeschermd tegen uitwendige invloeden. Een tweede indicatie voor de aansluiting van dit condensator-type heeft men in de stempeling. De draad aan de linkerzijde van de stempeling is aan de buitenste folie verbonden.

c. <u>De keramische condensator</u> (fig. 26)

Deze condensator bestaat uit een buisje van keramisch materiaal, dat als diëlectricum dienst doet. De binnenzijde en een deel van de buitenzijde van het keramisch buisje is bedekt met een zilverlaagje. Beide laagjes doen dienst als electroden. Het geheel wordt gedompeld in een vochtwerende lak om de condensator te beschermen tegen de invloed van vocht. Men gebruikt deze condensator in die gevallen, waarbij vooral prijs gesteld wordt op kleine afmetingen.

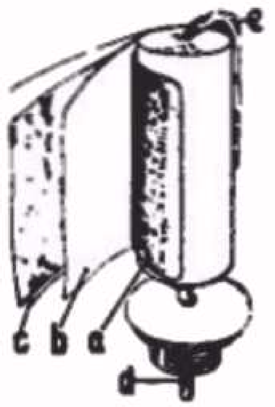


Keramische condensator.

Fig. 26

d. <u>De electrolytische condensator</u>

Wanneer men in een aluminium bakje, waarin zich een waterige zuuroplossing bv. boorzuur bevindt, een aluminium staaf plaatst en het bakje met de negatieve pool en de aluminium staaf met de positieve pool van een batterij verbindt, zal zich op het aluminium staafje een dun laagje aluminium-oxyde vormen (aluminium-oxyde is een zuurstofverbinding met het aluminium en heeft voor één richting van de stroom de eigenschappen van een isolator). Wij hebben op deze wijze een electrolytische condensator gevormd, waarbij de aluminium staaf de positieve electrode vormt en de zuuroplossing (de electrolyt) de negatieve pool is. Het laagje of huidje van aluminium-oxyde doet nu dienst als diëlectricum. Men heeft hier het eigenaardige geval dat de condensator polair is d.w.z. dat deze condensator uitsluitend met een gelijkspanning mag worden gebruikt (men kan in combinatie met een gelijkspanning een wisselspanning toelaten, mits de amplitude van deze wisselspanning klein is vergeleken bij de waarde van de gelijkspanning).



Eenvoudige voorstelling van de samenstelling van een "droge" electrolytische condensator.

a = geëtste aluminiumstrook voorzien van een huidje van aluminiumoxyde

b = papierlaag, doordrenkt met een zuuroplossing

c = aluminiumstrook

d = aansluiting van de positieve electrode

e = aansluitstrook van de negatieve electrode.

Fig. 27

Vroeger onderscheidde men de electrolytische condensator in 2 typen: de natte en de droge uitvoering. Tegenwoordig gebruikt men practisch uitsluitend de "droge" constructie (fig. 27) Hierbij wordt tussen 2 aluminium stroken een papierlaag gewikkeld die doordrenkt is met de zuuroplossing. De ene aluminium strook bezit een huidje van aluminiumoxyde, de andere aluminium strook is daarentegen zodanig geprepareerd dat deze niet oxydeert. Door de strook een grote lengte te geven, verkrijgt men reeds een grote oppervlakte van de platen van deze condensator. Men heeft deze oppervlakte nog extra vergroot door de aluminium strook met het oxyde huidje te beitsen, waardoor de oppervlakte ruw wordt en de werkzame oppervlakte enige tientallen malen groter is geworden (zie fig. 28). Aangezien het oxyde huidje (het diëlectricum) uiterst dun is, is de afstand tussen de 2 platen zeer klein, hetgeen de grootte van de capaciteit eveneens ten goede komt. Dank zij deze constructie heeft men de mogelijkheid om vrij grote capaciteit te verkrijgen bij kleine afmetingen. De electrolytische condensator komt in verschillende uitvoeringen voor:

Vergroot beeld van de doorsnede van een gebeitste aluminiumstrook.

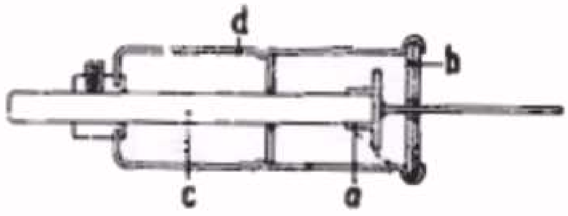
Fig. 28

1. Enkelvoudige en dubbele condensatoren voor hoge spanningen (met waarden tot 50 µF en voor spanningen tot 500 V).
2. Enkelvoudige en dubbele condensatoren voor lage spanningen (met waarden tot 250 µF en voor spanningen tussen 12½ en 50 V).

   De uitvoering der condensatoren genoemd onder 1. is in een aluminium bus, waaronder geïsoleerd een of twee polen uitkomen. Het huis van de condensator is de -pool, de geisoleerde contacten onder aan de condensator zijn steeds de + polen. De condensator genoemd onder punt 2. heeft meestal aan weerszijden een soldeerlip; op het huis van de condensator staat dan aangegeven, welke aansluitingen de -pool en de +pool zijn.

e. <u>De temperatuurcompensatie-condensator</u>

Dit condensatortype staat geheel apart en is een enkele maal toegepast in ontvangtoestellen. Het kenmerkende van deze condensator is de eigenschap dat bij toeneming van de temperatuur, de capaciteit kleiner wordt, d.w.z. dat hij een negatieve temperatuurscoefficient heeft. De constructie van deze condensator berust op de verschillende warmteuitzettingen van verschillende materialen bv. van aluminium en porcelein.



Constructie van een temperatuurcompensatie-condensator.

a = de ene condensatorplaat

b = de andere condensatorplaat

c = porceleinen buisje, waarop "a" is bevestigd

d = aluminium huis. Fig. 29

Het aluminium huis (fig. 29d) van deze condensator zet bij stijgende temperatuur meer uit dan het porceleinen buisje c, waarop een condensatorplaatje a is gemonteerd. Dit heeft tot gevolg dat de afstand tussen dit plaatje a en het andere condensatorplaatje b, dat aan het aluminium huis is bevestigd, groter wordt; dus dat de capaciteit kleiner wordt. De capaciteitsverandering bedraagt circa 0,1 pF per graad Celcius verhoging; de gemiddelde capaciteit kan tussen 2 en 4 pF worden ingesteld.

SAMENVATTING

1. Een condensator wordt gevormd door 2 geleiders waartussen zich aan isolator bevindt; deze middenstof wordt diëlectricum genoemd.
2. De eigenschap van een condensator, om een hoeveelheid electriciteit op te zamelen, noemt men de capaciteit (electrisch bevattingsvermogen). Deze capaciteit wordt uitgedrukt in de eenheid Farad (symbool F).
3. Een condensator bezit een capaciteit van 1 Farad, als deze bij een spanning van 1 Volt een lading opneemt van 1 Coulomb.
   Naast de eenheid Farad gebruikt men in de praktijk de eenheden micro-Farad (µF) en pico-Farad (pF).
   1 µF = 1/1.000.000 F = 1.000.000 pF
   1 pF = 1/1.000.000.000.000 F = 1/1.000.000 µF
4. De capaciteit van een condensator is van de volgende factoren afhankelijk:
   a. de oppervlakte van de tegenover elkander staande platen.
   b. de onderlinge afstand van de platen.
   c. het diëlectricum tussen de platen.
5. De diëlectriciteitsconstante geeft aan hoeveel maal de capaciteit groter wordt door toepassing van het bepaalde diëlectricum t.o.v. lucht.
6. Voor een condensator geldt steeds het verband: Q = C x V waarin
   Q = lading in Coulomb
   C = capaciteit in Farad
   V = spanning in Volt.
7. Plaatst men tussen de platen van een condensator een derde plaat die met aarde is verbonden, dan zal de capaciteit tussen de twee buitenste platen tot 0 worden teruggebracht.
8. Bij serieschakeling van condensatoren is het omgekeerde van de vervangings-capaciteit gelijk aan de som van de omgekeerde waarden van de afzonderlijke capaciteiten. Voor twee condensatoren in serie is de vervangingscapaciteit gelijk aan het product van hun capaciteiten gedeeld door hun som.
9. Bij parallelschakeling van condensatoren vindt men de vervangingscapaciteit door optelling van de afzonderlijke capaciteiten.
10. Onder de wisselstroomweerstand van een condensator verstaat men de "schijnbare" weerstand die een gevolg is van de capaciteitswerking. Men spreekt ook wel van capacitieve reactantie.
   De grootte van deze wisselstroomweerstand is afhankelijk van de frequentie van de wisselstroom en van de capaciteit van de condensator. Hiervoor geldt: wisselstroomweerstand $X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{6,28\ fC}$
   Hierin is f de frequentie in Hz en C de capaciteit in Farad.
11. Sluit men een condensator op een wisselspanning aan, dan ontstaat er een wisselstroom die op de aangelegde spanning 90° in faze voorijlt.
12. Sluit men een condensator op een wisselspanningsbron aan, dan zal de energie waarmede de condensator wordt geladen, niet "verbruikt" worden; deze energie wordt steeds uitgewisseld tussen de wisselspanningsbron en de condensator.
13. Men onderscheidt de condensatoren in de radiotechniek in variabele condensatoren en vaste condensatoren.
14. De variabele condensatoren onderscheidt men in condensatoren voor continu variatie (afstemcondensatoren) en voor afregeling (trimmers).
15. De trimmers en de vaste condensatoren onderscheidt men naar hun diëlectricum.

VRAGEN EN VRAAGSTUKKEN

1. Drie condensatoren zijn parallel geschakeld. De waarden van de capaciteiten zijn resp. 30 pF, 0,1 µF en 470 pF.
   Wat is de totale capaciteit?

2. Men schakelt drie condensatoren, elk van 270 pF, in serie.
   Hoe groot is de totale capaciteit?

3. Een condensator van 325 pF wordt aangesloten op een wisselspanning van 50 Hz.
   Wat is de schijnbare weerstand van deze condensator? Hoe groot wordt deze weerstand als de frequentie wordt verhoogd tot 500 kHz?

4. Een condensator van 50 µF wordt aangesloten op een wisselspanning van 4 V met een frequentie van 100 Hz.
   Hoe groot is de wisselstroom die door deze condensator zal vloeien?

5. Een weerstand van 100 Ohm in serie met een condensator van 0,1 µF wordt aangesloten op een wisselspanning. Ten gevolge daarvan loopt er een stroom van 0,1 A met een frequentie van 100 Hz.
   Hoeveel vermogen in Watt moet door de wisselspanningsbron worden geleverd?

45. Luchttrillingen

Wanneer wij een stalen naald met het ene einde in een bankschroef klemmen en het andere einde naar ons toe trekken en vervolgens los laten, zien wij, dat het vrije einde van de naald met grote snelheid heen en weer beweegt. Tevens nemen wij geluid waar. De heen en weer beweging van de naald zal na enige tijd uitsterven en tenslotte zal de naald tot rust komen. De oorzaak hiervan is:

1. dat de naald zich tegen de beweging verzet,
2. dat de naald is omringd door lucht, welke zich eveneens tegen de beweging verzet.

Wij zullen nu eens nagaan, wat er met de lucht gebeurt, als de naald zich heen en weerbeweegt.

Een trillende naald veroorzaakt luchttrillingen (luchtverdichtingen en -verdunningen), die men als geluid hoort.

Fig. 1

Beweegt het vrije einde van de naald zich naar achteren, dus van ons af, dan zullen de luchtdeeltjes, welke zich achter de naald bevinden, naar achteren geduwd worden. Deze luchtdeeltjes zullen op hun beurt de aangrenzende luchtdeeltjes naar achteren duwen, enz. De luchtdeeltjes zullen zich echter verzetten tegen dit geduw en zodoende de beweging van de naald tegenwerken. Door deze beweging van de naald ontstaat vóór de naald een luchtverdunning, waardoor de deeltjes in de omgeving deze verdunning zullen trachten aan te vullen.

Beweegt het vrije einde zich naar ons toe, dan worden de luchtdeeltjes, welke zich vóór de naald bevinden, naar ons toe geduwd, en de luchtdeeltjes achter de naald tengevolge van een verdunning op hun beurt naar voren gezogen. Op deze wijze ontstaan gedurende de trilling van de naald verdichtingen en verdunningen van de lucht rondom de naald, die zich in alle richtingen voortplanten.

De voortplanting van de luchttrillingen kan men zeer eenvoudig demonstreren door een steen in het water te gooien.

Fig. 2

Deze trillingsvoortplanting kan men zeer eenvoudig gedemonstreerd zien, door een steen in stilstaand water te werpen. Men ziet dan, dat het water-oppervlak in trilling geraakt, en dat deze trilling zich naar alle richtingen voortplant. Verder ziet men, dat de heftigheid van de trilling op grotere afstand afneemt, want de golfjes worden steeds kleiner naarmate de cirkels groter worden.

Indien de stalen naald in 1 sec 50 maal heen en weer beweegt, dus 50 trillingen per seconde maakt, zeggen we, dat de frequentie van de trilling 50 perioden per seconde is. De tijdsduur van één trilling bedraagt dan 1/50 sec (zie hiervoor ook les 6, par. 28).

De voortplanting van de luchtverdunningen en -verdichtingen, dus van de luchttrillingen, geschiedt met een bepaalde snelheid. Dit kan men constateren bij onweer met donder en bliksemstralen. Bij een onweer vindt er op het moment, dat men de bliksemstraal ziet, een soort explosie plaats. Deze explosie hoort men echter meestal na een bepaalde tijd. De tijdsduur hiervan is gelijk aan het verschil in tijd tussen het moment, dat men de bliksemstraal waarneemt en de tijd, dat men de donder hoort. De voortplantingssnelheid van het geluid in lucht bedraagt ongeveer 330 m per seconde. Dit betekent dus, dat, als een geluidsbron zich op een afstand van 1 kilometer van ons bevindt, men het geluid na ca. 3 sec hoort. Bij een onweer kan men dus de tijd noteren na het moment, dat men de bliksemstraal ziet, en die waarop men de donder hoort. Dit tijdsverschil in seconden, vermenigvuldigd met 330 m, geeft dan de afstand tot de plaats, waar het onweer zich bevindt. (De lichtstralen hebben weliswaar eveneens tijd nodig om ons oog te bereiken; de voortplantingssnelheid van deze stralen is echter zo groot, dat de tijd, die de lichtstralen nodig hebben om de afstand tot ons oog af te leggen, verwaarloosd kan worden vergeleken bij de tijd, die het geluid nodig heeft om deze zelfde afstand af te leggen).

De afstand, waarover de luchttrilling zich gedurende de tijd van 1 periode voortplant, noemt men de golflengte van de trilling.

Wij hebben reeds geconstateerd, dat van een trilling met een frequentie van 50 per/sec 1 periode 1/50 sec duurt. Gedurende deze tijd van 1 periode heeft de trilling zich dus 1/50 x 330 m = 6,6 m voortgeplant. De golflengte bedraagt dan 6,6 m.

46. Het geluid

Zoals wij reeds bij de proef met de stalen naald constateerden, kunnen wij bepaalde luchttrillingen als geluid waarnemen. Deze luchttrillingen of geluidstrillingen hebben frequenties, die variëren tussen ca. 25 en 16.000 per/sec. Deze grenzen zijn echter voor ieder mens verschillend. Kinderen zullen b.v. hogere frequenties horen dan oudere mensen. Bovenstaande grenzen moeten dan ook als uiterste waarden worden beschouwd.

Strijken wij de snaren van een viool aan, dan horen wij eveneens geluid. De frequentie van de geluidstrilling blijkt dan afhankelijk te zijn van de lengte, de dikte van de snaar en van de kracht, waarmee de snaar is gespannen. Naarmate de snaar langer en dunner is, horen wij een hogere toon. Deze hogere toon is een geluidstrilling

met een hogere frequentie. De sterkte van het geluid hangt af van de amplitude van de trilling: hoe groter de amplitude is des te sterker horen wij het geluid. Dit kan men onmiddellijk met de proef met de stalen naald constateren. Als het vrije einde van de naald verder gebogen wordt, wat gelijk staat met een grotere amplitude, hoort men het geluid sterker.

47. Het menselijk oor

Het orgaan, waarmee het geluid wordt waargenomen is het oor (fig. 3). Het menselijk oor kan in twee delen worden gesplitst: het zichtbaar gedeelte of oorschelp en het eigenlijke gehoororgaan, dat zich binnen in het hoofd bevindt. De oorschelp (a) dient om het geluid te verzamelen. De verzamelde geluidstrillingen (luchtverdichtingen en -verdunningen) worden via het gehoorkanaal (b) op het trommelvlies (c) overgebracht. Dit trommelvlies sluit het gehoorkanaal af en is over een benen raam gespannen, op dezelfde manier als het vlies van een trommel; vandaar de naam trommelvlies. Als het oor wordt getroffen door het geluid d.w.z. als luchtverdichtingen en -verdunningen de oorschelp bereiken, worden zij in het gehoorkanaal samengeperst, waardoor de verschillen in verdichtingen en verdunningen nog worden versterkt. Een luchtverdichting drukt het trommelvlies verder naar binnen, bij een luchtverdunning veert het trommelvlies terug. Men verkrijgt op deze wijze een mechanische trilling van het trommelvlies, die via de z.g. gehoorbeentjes en andere organen op de gehoorzenuwen worden overgebracht en als geluid worden waargenomen.

Een schets van het menselijk oor.
a = oorschelp
b = gehoorkanaal
c = trommelvlies
d = gehoorbeentjes
e = gehoorzenuwen

Fig. 3

48. De microfoon

In de radio- en versterker-techniek wordt van de microfoon gebruik gemaakt om de geluidstrillingen in electrische trillingen om te zetten. Dit kan op verschillende manieren en volgens verschillende systemen gebeuren. Al deze systemen zijn echter tot één grondprincipe terug te brengen en wel, dat de luchttrillingen eerst worden omgezet in mechanische trillingen, welke op hun beurt in electrische trillingen worden omgezet. Men heeft dus steeds de volgorde: luchttrilling-mechanische trilling-electrische trilling.

Het omzetten van de luchttrilling in een mechanische trilling geschiedt veelal door middel van een membraan, op de zelfde wijze als dit in het menselijk oor door middel van het trommelvlies plaats heeft.

In fig.4 zijn twee posities van zo'n membraan getekend. In fig. 4a bevindt zich voor het membraan een luchtverdichting en wijkt het membraan naar rechts uit. In fig. 4b is een luchtverdunning getekend, waardoor de uitwijking van het membraan naar links gericht is.

Onder invloed van een luchttrilling ontstaat een mechanische trilling van het membraan. De figuren a en b geven twee posities van het membraan weer.

Fig. 4

Het omzetten van de mechanische trillingen in electrische spanningen of stromen kan op ververschillende manieren worden gerealiseerd:

a. de mechanische trillingen worden omgezet in weerstandsveranderingen, waarvan de frequentie uiteraard gelijk is aan die van de mechanische trillingen (koolmicrofoon);
b. de mechanische trillingen veroorzaken langs inductieve weg electrische wisselspanningen (electrodynamische microfoon);
c. de mechanische trillingen worden via capaciteitsveranderingen omgezet in wisselspanningen (condensatormicrofoon);
d. de mechanische trillingen worden door middel van een kristal in wisselspanningen omgezet (kristalmicrofoon).

Aan alle microfoons wil men graag, ongeacht hun systeem, de volgende eisen stellen:

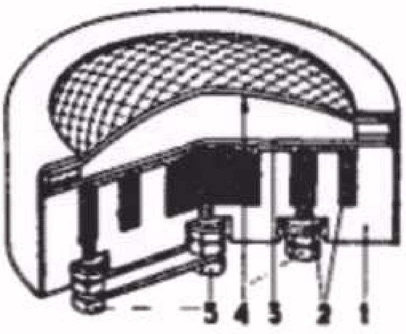
1. de afgegeven electrische wisselspanning moet een zo getrouw mogelijk beeld geven van de luchttrilling. Dit betekent, dat de amplituden van de wisselspanningen voor de verschillende frequenties in dezelfde verhouding moeten liggen, als de amplituden van de geluidstrillingen voor deze frequenties.
2. De microfoon moet zo gevoelig mogelijk zijn, d.w.z. dat de geluidstrilling in een zo sterk mogelijke electrische trilling of wisselspanning moet worden omgezet.
   Het blijkt dat het bij de practische constructies niet mogelijk is, om beide eigenschappen tegelijk te verwezenlijken.

Na deze algemene punten willen wij thans nader op de constructie van enkele veel gebruikte microfoon-typen ingaan.

a. <u>Koolmicrofoon</u>

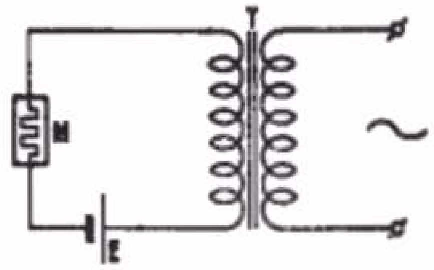
De koolmicrofoon bestaat uit een microfoonhuis of koolkamer, gevuld met koolkorrels en aan de voorzijde afgesloten met een membraan (fig.5). De eigenlijke koolkamer (1) is meestal een schijf marmer, waarin groeven zijn aangebracht. In de groeven (2) liggen

twee ringvormige electroden, welke met een laagje goud zijn bedekt. Dit goudlaagje dient, om een zo goed mogelijk electrisch contact te verkrijgen. Het membraan (3), welke het inwendige van de koolkamer afsluit, bestaat uit een uiterst dun veerkrachtig materiaal, b.v. mica of cellophaan. De ruimte tussen het membraan en de electroden is gevuld met fijne koolkorrels en is luchtdicht afgesloten, om te voorkomen, dat de koolkorrels vochtig worden. Het laagje koolkorrels fungeert als een weerstand, die opgebouwd is uit de meer of minder slechte contacten van de koolkorrels onderling. Zodra door het spreken voor de microfoon het membraan in trilling komt, worden de koolkorrels meer of minder samengedrukt. Door het samendrukken zal de overgangsweerstand tussen de koolkorrels kleiner worden, aangezien zij dan onderling beter contact maken. Bij een luchtverdunning gebeurt het tegenovergestelde.

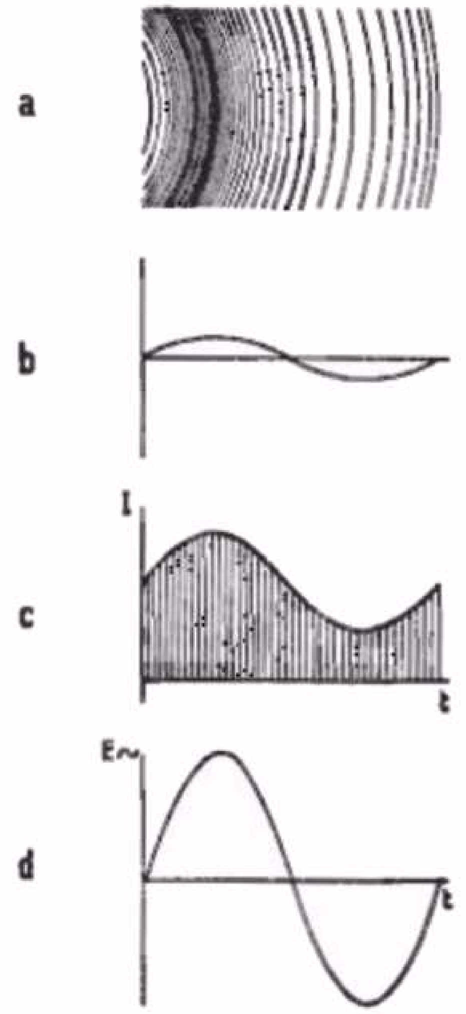


Schets van een koolmicrofoon. 1 = koolkamer 2 = groeven, waarin ringvormige electroden liggen. 3 = membraan 4 = beschermkap 5 = aansluitingen Fig. 5

Men schakelt nu de koolmicrofoon volgens fig. 6. In de linker stroomkring, welke gevormd wordt door de microfoonbatterij E, de primaire wikkeling van de transformator T en de microfoon M, zal een stroom vloeien, die afhankelijk is van de grootte van de batterijspanning E en van de weerstand van de microfoon M. Varieert nu de weerstand van de microfoon, tengevolge van de trillingen van het membraan, dan zal bij een constante spanning E de stroom eveneens variëren. De batterij spanning ligt gewoonlijk tussen 4 en 6 V (deze spanning wordt laag gehouden om te voorkomen, dat de stroom in de keten te hoog wordt; de slechte overgangsweerstand tussen de koolkorrels zou bij een te grote stroomsterkte aanleiding kunnen geven tot vonkjes, welke bij de weergave kenbaar worden in de vorm van een hinderlijk ruisen). De ruststroom, dat is de stroom die in de keten vloeit als het membraan niet in beweging is, bedraagt bij een spanning van 4 V ca. 100 mA. Spreekt men nu voor de microfoon, dan zal de weerstand in de keten dus groter of kleiner worden en de stroom zal variëren rond de waarde van 100 mA, b.v. tussen 95 en 105 mA. In fig. 7 is het verloop van de stroomsterkte gedurende een periode weergegeven. In fig. 7a ziet men een beeld van de luchttrilling met haar verdichtingen en verdunningen. Daaronder is de overeenkomstige trilling van het membraan weergegeven en in fig. 7c, die van de veranderlijke stroom in de microfoonketen. Tenslotte geeft fig. 7d een beeld van de wisselspanning, die tengevolge van de veranderlijke stroom over de primaire wikkeling van de transformator T ontstaat. Deze wisselspanning wordt daarna getransformeerd naar de secondaire wikkeling, waarbij er door een juiste transformatie-verhouding voor



Schakeling van de koolmicrofoon met transformator. De verschillende fazen van het omzettingsproces van geluidstrillingen in electrische trillingen. Fig. 6



a. luchttrilling

b. overeenkomstige trilling van het membraan.

c. overeenkomstige variatie van de microfoonstroom.

d. overeenkomstige L.F. wisselspanning.

Fig. 7

gezorgd wordt, dat de secondaire spanning een aantal malen groter is dan de primaire spanning. Tenslotte kan men de secondaire spanning in een versterker versterken (op de werking van een dergelijke versterker komen wij in latere lessen nog terug).

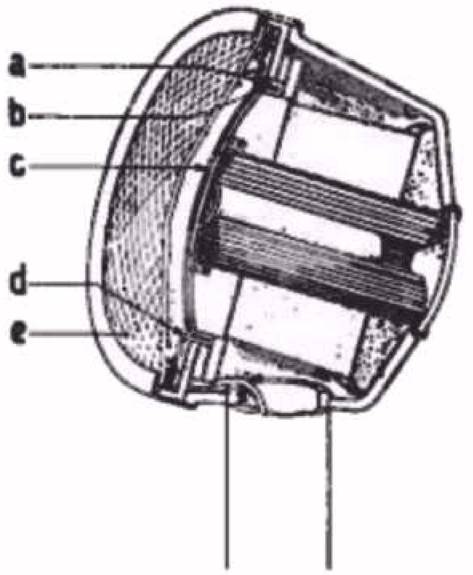
De koolmicrofoon wordt zeer veel gebruikt voor het weergeven van spraak, b.v. voor omroep-installaties in touring-cars en in de telefonie. Een gunstige eigenschap is, dat hij zeer gevoelig is, d.w.z. dat een grote wisselspanning ontstaat, als men voor de microfoon spreekt. Zodra echter bijzondere eisen aan de kwaliteit worden gesteld, zoals bij de weergave van muziek, gebruikt men de koolmicrofoon meestal niet.

Tenslotte nog een practische opmerking: Als een koolmicrofoon een lange tijd niet in gebruik is geweest, verdient het aanbeveling, de microfoon voor het gebruik voorzichtig te schudden. Het schudden moet in de richting van het vlak van het membraan geschieden. Tengevolge van het lange liggen kunnen de koolkorrels aan elkander gaan "koeken", waardoor de microfoon ongevoeliger wordt.

b. <u>Electrodynamische microfoon</u>

Op het electrodynamische principe berusten twee typen microfoons: de spoel- of membraan-microfoon en de bandmicrofoon. Wij zullen ons beperken tot de bespreking van de constructie van de spoelmicrofoon.

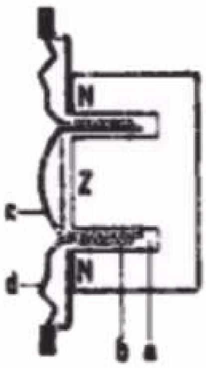
Fig. 8a toont een doorsnede van een dergelijke microfoon, fig. 8b het principe. Het grondprincipe berust op het feit, dat in een spoeltje, dat zich in een magnetisch veld beweegt, een EMK- van inductie wordt opgewekt (zie les 6, par. 26).



Constructieschets van de spoel- of membraanmicrofoon.

a = ringvormige luchtspleet
b = spoeltje op het membraan
c = membraan
d = flexibele bevestiging van het membraan
e = beschermkap

Fig. 8a



Principe van de electrodynamische microfoon.

Fig. 8b

Wij kunnen de electrodynamische microfoon in twee belangrijke gedeelten splitsen:

1. het magneet-systeem, dat voor een krachtig gelijkmatig verdeeld machnetisch veld zorgt,
2. het vrij bewegende systeem, bestaande uit het membraan met het spoeltje.

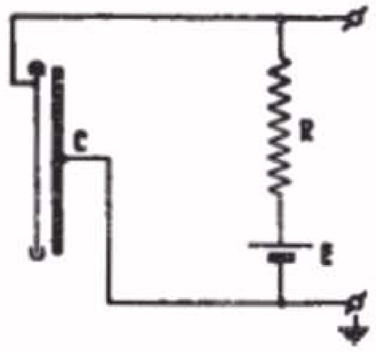
Het gelijkmatig verdeelde magnetisch veld wordt verkregen door een magneetsysteem met ringvormige luchtspleet (a). In deze luchtspleet beweegt op en neer het spoeltje (b). Aan dit spoeltje is het membraan bevestigd. Dit membraan bestaat uit papier, plastic of dun aluminium en bezit de vorm van een kapje, opdat het spoeltje met membraan vrij op en neer kan bewegen, is aan de zijkant van het membraan een flexibele papieren ring (d) bevestigd, die tussen twee papierringen op het magneethuis is gemonteerd.

Het geheel is zeer teer, zodat maatregelen getroffen zijn om de kans op beschadiging zo klein mogelijk te maken. Aan de voorzijde is een kap van fijn metaalgaas (e), welke aan de binnenkant met zijde is bekleed. Dit laatste dient om te voorkomen, dat stofdeeltjes in de microfoon doordringen; het binnendringen van stofdeeltjes kan tot gevolg hebben, dat het spoelsysteem niet meer vrij in de luchtspleet van het magneetsysteem loopt (men zegt ook wel: aanloopt).

Spreekt men nu in de microfoon, dan brengen de luchttrillingen het membraan in trilling, met het gevolg, dat het spoeltje zich in hetzelfde rhythme in de luchtspleet van de magneet gaat bewegen. Er zal nu door magnetische inductie een wisselspanning in het spoeltje worden opgewekt, waarvan men de richting zou kunnen bepalen met de drie-vingerregel (zie les 6, paragraaf 28). Men heeft hier eigenlijk het omgekeerde verschijnsel van de Lorentz-kracht, hetwelk in les 5, paragraaf 23, bij behandeling van de draaispoelmeter werd beschreven. De opgewekte wisselspanning is echter zeer zwak, zodat zij moet worden versterkt. Dit geschiedt weer in een versterker.

c. Condensatormicrofoon

Bij dit type microfoon vormt het membraan een van de platen van een luchtcondensator. Fig. 9 geeft het principe van de schakeling van deze microfoon weer. Door de batterij E verkrijgt de condensator een zekere lading Q. Als het membraan door het geluid in trilling komt, verandert de afstand tussen de platen van de condensator, en dus ook de capaciteit van de condensator.
Deze capaciteitsvariatie, uiteraard in het rhythme van de geluidstrilling, veroorzaakt een wisselstroompje in de keten, dat over de weerstand R een wisselspanning geeft. Aangezien deze microfoon niet algemeen wordt gebruikt, zullen wij niet verder op de bijzonderheden ingaan.



Principeschema van de condensatormicrofoon.

Fig. 9

d. Kristalmicrofoon Fig. 10

De werking van deze microfoon berust op een typische eigenschap van bepaalde kristallen. Als men op deze kristallen een druk uitoefent, ontstaat een potentiaalverschil over het kristal.
Dit potentiaalverschil is evenredig met de druk op de zijkanten van het kristal. De geluidstrillingen kunnen nu via een membraan, dat met een van de zijkanten van het kristal is gekoppeld, drukverschillen teweegbrengen. Deze microfoon vindt vrij veel toepassing, omdat de afmetingen zeer klein kunnen zijn en de kwaliteit goed is.

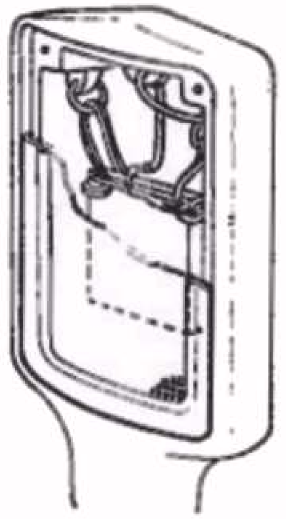

Constructieschets van een kristalmicrofoon.

Fig. 10

Algemene wenken

Wij hebben in het voorgaande reeds geconstateerd, dat de microfoon een teer instrument is. Bij reparatie mag men de te repareren microfoon dan ook nimmer zonder voorzorgsmaatregelen op de werkbank leggen, aangezien op de bank altijd stof en metaaldeeltjes aanwezig zijn. Dit geldt vooral voor de electrodynamische microfoon, waarin een zeer sterke magneet wordt gebruikt. De metaaldeeltjes zullen door deze magneet worden aangetrokken en zich vooral in de buurt van de luchtspleet gaan vastzetten. Microfoonreparaties dienen dan ook in een stofvrije ruimte, met de grootste zorgvuldigheid te geschieden, terwijl men op de werktafel eerst een stuk wit papier moet leggen. De te gebruiken gereedschappen moeten eveneens op dit papier liggen en verder moet de reparatie zonder onderbreking worden verricht. Is men door een of andere oorzaak genoodzaakt de reparatie toch te onderbreken, dan verdient het aanbeveling, de

onderdelen onder een glazen stolp of in een glazen kast op te bergen om te voorkomen, dat stof op de onderdelen terecht komt.

49. De luidspreker

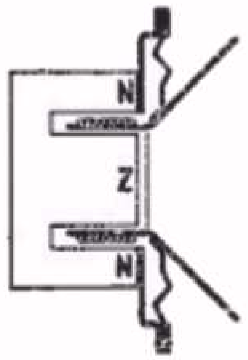
De luidspreker dient om electrische wisselspanningen om te zetten in geluidstrillingen. De taak van de luidspreker is dus juist tegengesteld aan die van de microfoon. Men kent vier verschillende systemen:

a. het electrodynamische systeem
b. het electromagnetische systeem
c. het electrostatische systeem
d. het systeem met een kristal.

Van deze systemen is het electrodynamische verreweg het belangrijkste, aangezien dit tegenwoordig overwegend wordt toegepast. Wij zullen ons daarom tot de behandeling van de electrodynamische luidspreker beperken.

De electrodynamische luidspreker

De electrodynamische luidspreker berust op de eigenschap dat een stroomvoerende geleider in een magnetisch veld een afbuigende kracht (Lorentzkracht) ondervindt. Wij hebben dit principe reeds behandeld bij de draaispoelmeter (les 5) en de motor (les 6)



Principe van een electrodynamische luidspreker.

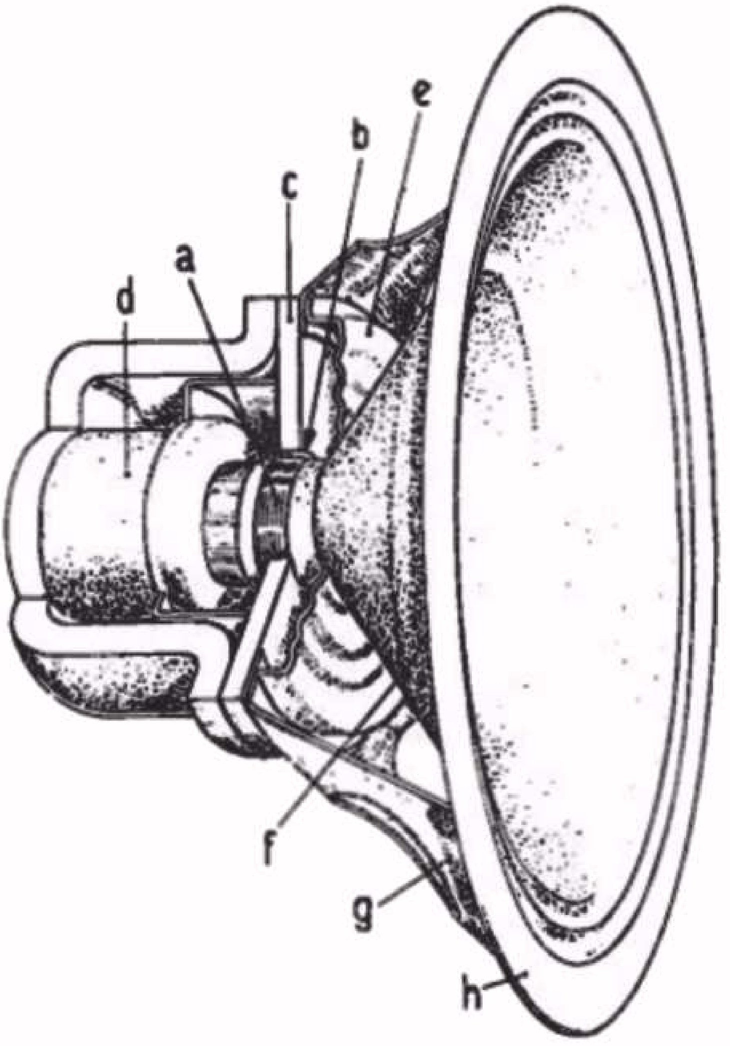
Fig. 11

In fig. 11 is het principe van de electrodynamische luidspreker voorgesteld. Hierin ziet men het draadspoeltje in de luchtspleet van het magnetisch veld. Door het spoeltje wordt een wisselstroom gestuurd en onder invloed hiervan zal het spoeltje in de lengterichting heen en weer gaan bewegen. Aan het spoeltje is een papieren conus bevestigd. Door de beweging van het spoeltje komt de conus in beweging, waardoor een luchttrilling, en dus geluid, geproduceerd wordt.

Het spoeltje moet zodanig worden aangebracht, dat het uitsluitend in de lengterichting heen en weer kan bewegen. De bevestiging geschiedt daarom door middel van een centreerinrichting, die een beweging in de dwarsrichting voorkomt en uitsluitend een beweging in lengte toelaat.

Fig. 12 toont de constructie van een electrodynamische luidspreker. Het spoeltje (a) (men noemt dit het spreekspoeltje) beweegt in de luchtspleet (b) van het magneetsysteem (c-d). Aan het spreekspoeltje zit de conus (f). Het geheel is bevestigd aan de conusdrager (g) door middel van de flensrand (h). De centrering geschiedt bij dit systeem door middel van een z.g. vaste centrering (e).

Men treft ook systemen aan met een instelbare centrering. In fig.



Constructieschets van een electrodynamische luidspreker.

a = spreekspoeltje

b = luchtspleet in het magneetsysteem

c-d = magneetsysteem

e = centrering

f = conus

g = conusdrager

h = flensrand van de conusdrager.

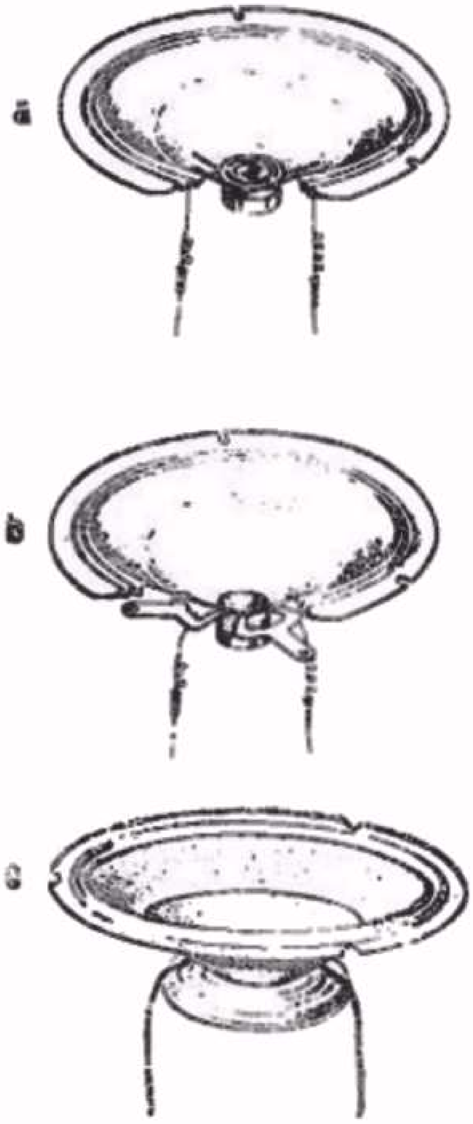
Fig. 12

13 zijn drie methoden van centrering afgebeeld. In fig. 13a is de z.g. binnencentrering getekend. Op de plaats waar de conus op het spreekspoeltje is bevestigd, is een dun hardpapieren schijfje met uitsparingen (zodat het flexibel is) aangebracht, waarbij zich in het midden een schroefgat voor de bevestiging bevindt. Door middel van een schroefbout wordt het hardpapieren plaatje zodanig op de centrale pool (in fig. 11 de Zuidpool) van de magneet bevestigd, dat het systeem in de luchtspleet van de magneet volkomen vrij loopt. In fig. 13b vindt U een conus met spreekspoel met buitencentrering afgebeeld.
Hierbij geschiedt de bevestiging door middel van een stervormige flexibelehardpapieren vleugel (in de figuur ziet U twee van de drie bevestigingslippen). Fig. 13c toont een conus met vaste centrering, zoals deze ook in het systeem van fig. 11 is gebruikt. Deze centrering moet op de bodem van de metalen conusdrager met celluloidlijm worden gelijmd.

De stroomtoevoer naar het spreekspoeltje heeft plaats door middel van twee soepele snoertjes, die de bewegingsvrijheid van de conus met spreekspoel niet mogen belemmeren en toch ook weer niet zo slap mogen zijn, dat zij tegen de conus klepperen. Om het binnendringen van stof en ijzersplinters te voorkomen, wordt de luidspreker omgeven met een dunne stofdichte linnen hoes. De wisselstroomweerstand van het spreekspoeltje is ca. 5-40 Ohm bij een frequentie van 1000 Hz; deze weerstand is afhankelijk van het type luidspreker.

Voor een goede geluidsweergave kan men het luidspreker systeem niet zonder meer gebruiken. Men zou dan n.l. vooral van de lage frequenties een slechtere weergave krijgen dan van de hoge frequenties. Dit is een gevolg van de z.g. acoustische kortsluiting. Wan-

neer de conus in fig. 11 zich naar rechts beweegt, zullen de lucht. deeltjes naar rechts worden geduwd, terwijl de luchtdeeltjes achter de conus eveneens naar voren worden gezogen. Een gedeelte van de luchtdeeltjes zal zich naar voren voortplanten, het overblijvende gedeelte zal zich echter om de rand van de conus bewegen en zal de luchtverdunning aan de achterkant van de conus opheffen. Men kan dit tegenwerkende verschijnsel voor een groot gedeelte opheffen door de luidspreker van een klankbord te voorzien. Op deze wijze wordt de weglengte voor de luchtdeeltjes naar de achterzijde van de conus zodanig verlengd, dat zij practisch geen kans krijgen om de conusbeweging tegen te werken. Hieruit volgt ook, dat het effect van het klankbord des te groter is, naarmate de afmetingen groter zijn. In het ontvangtoestel fungeert de kast als klankbord. De kast moet echter aan de achterzijde zoveel mogelijk open zijn, omdat in een geheel gesloten kast de daarin opgesloten hoeveelheid lucht tot resonantie(meetrillen) kan worden gebracht, waardoor de uitermate storende kast-boem kan ontstaan. In verband hiermede moet men het radiotoestel nimmer te dicht tegen de wand plaatsen. Ter bestrijding van het richteffect van de conus voor de hoge tonen, waardoor deze tonen hoofdzakelijk in de lengterichting van de luidspreker gehoord worden, plaatst men in sommige luidspreker-typen een kegel van Philite. Men noemt dit een klankverstrooier.



a-Conus met binnencentrering
b-Conus met buitencentrering
c-Conus met vaste centrering

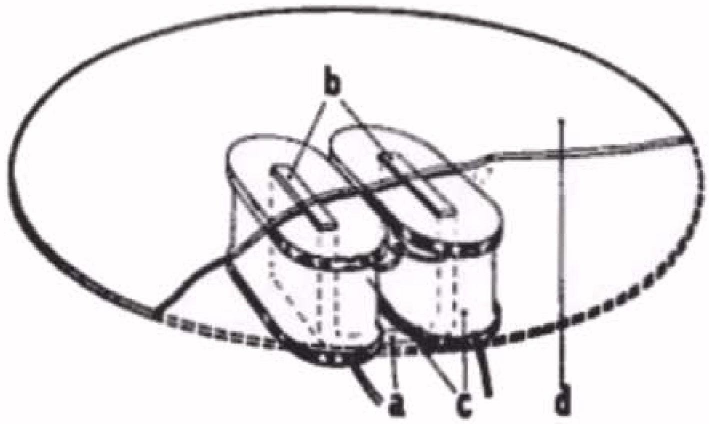
Fig. 13

Aangezien bij de electrodynamische luidspreker van een zeer sterke magneet wordt gebruik gemaakt, moet bij reparatie van luidsprekers gebruik gemaakt worden van een schone werkbank. Een sterke magneet heeft een grote aantrekkingskracht voor ijzervijlsel of -slijpsel! Men zie hiervoor tevens blz. 8 algemene wenken.

50. De koptelefoon

Als de aan de luidspreker toegevoerde energie zeer klein is, zullen de uitwijkingen van de conus ook zeer klein zijn, zodat de geluidssterkte zeer gering is. In zulk een geval gebruikt men de koptelefoon. In de koptelefoon brengen de electrische trillingen, langs electromagnetische weg, het membraan in mechanische trilling.

LES 9



Principe van de koptelefoon.

a = magneet

b = magneetpolen

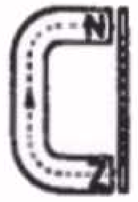
c = spoeltjes waardoor de stroom gevoerd wordt

d = dunne ijzeren trilplaat.

Fig. 14

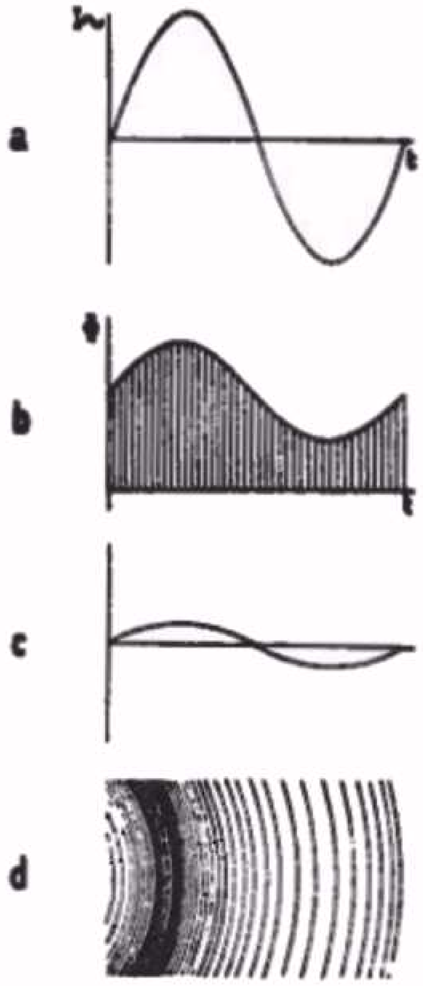
Het membraan brengt op zijn beurt de lucht, die zich tussen het membraan en de oorschelp bevindt, in trilling. Het verlies aan geluidsenergie is op deze wijze zeer gering.

In fig. 14 is op eenvoudige wijze de constructie van de koptelefoon afgebeeld. In het telefoonhuis bevindt zich een permanente hoefvormige magneet. (a). Om de magneetpolen (b) zijn spoeltjes (c) aangebracht. Op een zeer geringe afstand van de magneetpolen bevindt zich een dunne ijzeren trilplaat (d). Als er geen stroom door de spoeltjes vloeit, bestaat er een constant magnetisch veld, waarvan de krachtlijnen lopen volgens fig. 15. Zodra echter een wisselende stroom door de spoeltjes vloeit, zal het magnetisch veld versterkt of verzwakt worden, afhankelijk van de richting van de stroom. De trilplaat wordt dientengevolge meer of minder aangetrokken door de magneetpolen en komt dus in trilling.



Het krachtlijnen-verloop van het magnetisch veld bij een koptelefoon

Fig. 15



De verschillende fazen van het omzettingsproces van electrische trillingen in geluidstrillingen.

a = electrische stroom

b = overeenkomstige variatie van het magnetisch veld

c = overeenkomstige mechanische trilling van de trilplaat

d = overeenkomstige luchttrilling.

Fig. 16

In fig. 16 zijn nog de verschillende fazen van het omzettingsproces van electrische trilling in geluid getekend. De bovenste figuur geeft de wisselstroom weer, fig. 16b de variatie van het magnetisch veld, fig. 16c de trilling van het membraan als gevolg van de magnetische veld-variatie, en de onderste figuur de geluidstrilling.

SAMENVATTING

1. Geluid plant zich als een luchttrilling voort met een snelheid van ca. 330 m/sec.

2. Hoe hoger de frequentie van de luchttrilling is, des te hoger is de toon die men waarneemt. Geluidstrillingen hebben frequenties die variëren tussen ca. 25 en 16000 per/sec.

3. De golflengte is de afstand, die één trilling in een periode aflegt. Het verband tussen golflengte, voortplantingssnelheid en frequentie wordt gegeven door de formule:

$$\text{golflengte (in m)} = \frac{\text{voortplantingssnelheid (in m/sec)}}{\text{frequentie (in per/sec)}}$$

4. De microfoon heeft tot taak geluidstrillingen in electrische trillingen om te zetten.

5. Men onderscheidt de volgende microfoonconstructies:
   a. koolmicrofoon (berust op weerstandsverandering)
   b. electrodynamische microfoon (berust op het inductie-effect)
   c. condensatormicrofoon (berust op capaciteits-verandering)
   d. kristalmicrofoon.

6. De luidspreker dient om electrische trillingen om te zetten in geluidstrillingen.

7. De electrodynamische luidspreker berust op de eigenschap, dat een stroomvoerende geleider in een magnetisch veld een afbuigende kracht ondervindt (Lorentz-kracht).

8. Het spreekspoeltje met conus van een electrodynamische luidspreker wordt in de luchtspleet ingesteld door middel van de centrering.

9. Men onderscheidt binnencentrering en buitencentrering.

10. Voor het omzetten van een geringe electrische energie in geluidsenergie gebruikt men een koptelefoon.

11. De electromagnetische koptelefoon berust op het effect, dat een wisselstroom door spoeltjes geleid, een wisselend magnetisch veld teweegbrengt, onder invloed waarvan een ijzeren trilplaat in trilling komt.

VRAGEN EN VRAAGSTUKKEN

1. De snaren van een viool zijn alle even lang. Toch verkrijgt men bij het strijken van de ene snaar een hogere toon dan bij een andere snaar. Hoe verklaart U dit?

2. De wisselstroomweerstand van het spoeltje van een electrodynamische luidspreker is bij een frequentie van 1000 Hz 40 Ohm. Wat is de zelfinductie van het spoeltje? Ter vereenvoudiging van het vraagstuk kan de Ohmse weerstand van het spoeltje gelijk aan 0 Ohm worden gesteld.

3. Bepaal de stroomverandering in een microfoonketen, bestaande uit een koolmicrofoon, waarvan de weerstand tussen de grenzen 80 Ohm en 140 Ohm verandert, en een batterij met een spanning van 6 V.

4. Een koptelefoon bestaat uit twee telefoonelementen, elk met twee spoeltjes. Alle spoeltjes zijn in serie geschakeld en ieder spoeltje is bewikkeld met 60 m emailledraad van 0,07 mm middellijn. Bereken de totale weerstand van de koptelefoon. Wat is de totale spanning bij een stroom van 0,02 mA? De soortelijke weerstand van het draad is 0,0175 Ohm.

B. RADIOTECHNIEK

51. Het overbrengen van geluid over een grote afstand

Aangezien de geluidstrillingen zich slechts over een beperkte afstand voortplanten, moet men voor grotere afstanden naar andere middelen zoeken. In de radiotechniek maakt men hierbij gebruik van z.g. radiogolven. Onder radiogolven verstaan wij electrische trillingen met hoge frequenties, die worden gebruikt om een draadloze verbinding tussen de plaats waar het geluid wordt geproduceerd en de plaats waar men het geluid wil horen, tot stand te brengen. De frequenties van deze radiogolven hebben een waarde die ligt tussen ca. 150 kHz en 100 MHz. Dank zij deze hoge frequenties bezitten deze electrische trillingen (men noemt ze hoogfrequent trillingen, of afgekort H.F.trillingen) de eigenschap om zich ook buiten de geleiders over grote afstanden te kunnen voortplanten. Electrische trillingen met lage frequenties (b.v. de frequenties van de geluidstrillingen) bezitten deze eigenschap niet. Zij worden laagfrequent trillingen - afgekort L.F.trillingen - genoemd.

Wij zullen nu het gehele systeem tussen het voortbrengen van het geluid en het ontvangen van het geluid aan de hand van fig. 1 nagaan.

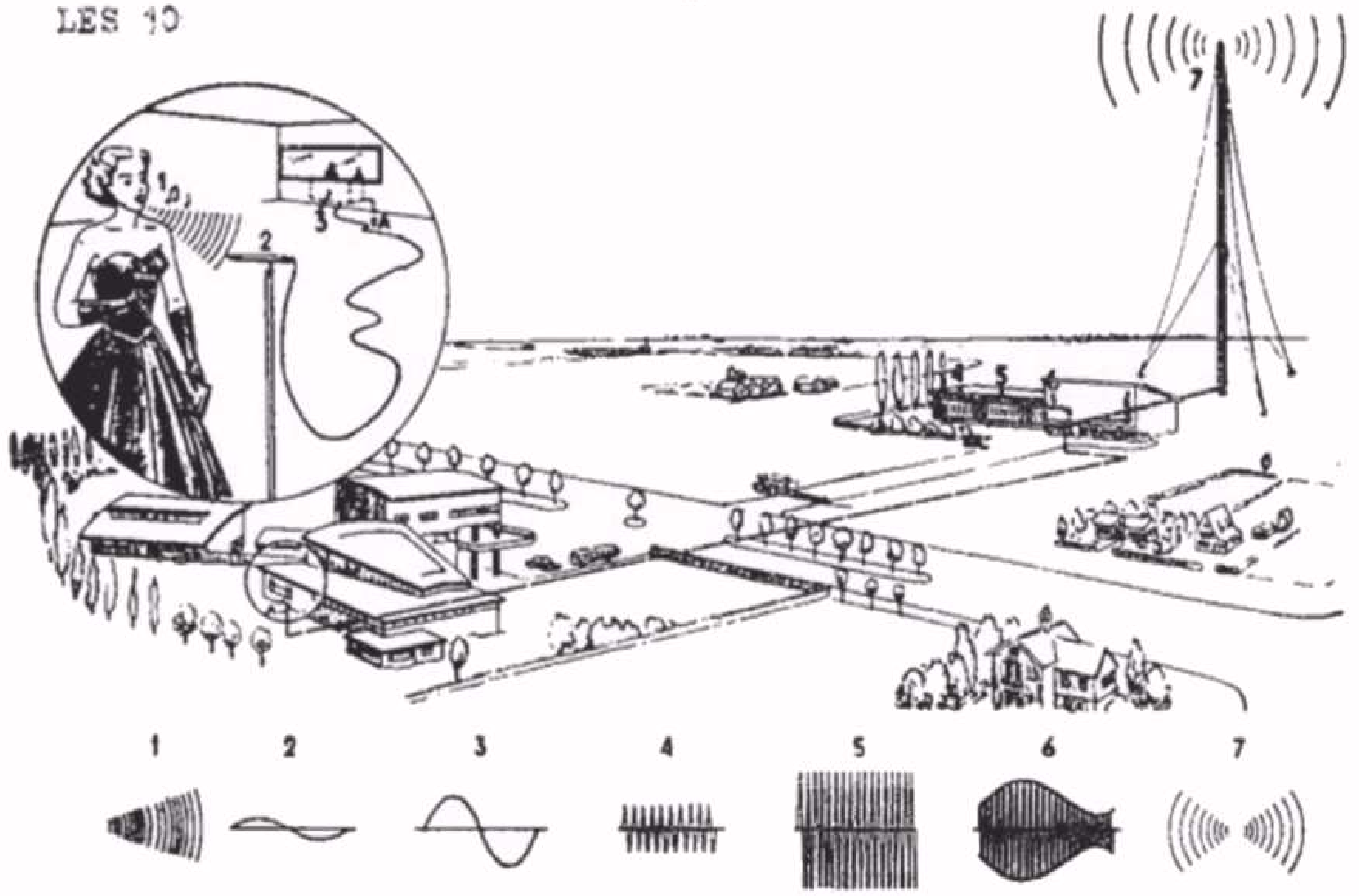
De geluidstrillingen (1) worden eerst door middel van de microfoon (2) in electrische trillingen (2) met dezelfde frequentie omgezet. Dit geschiedt in de omroepstudio. Deze electrische trillingen zijn echter zeer zwak, zodat ze eerst moeten worden versterkt alvorens aan de eigenlijke zendinstallatie te kunnen worden toegevoerd. Dit versterken geschiedt in de laagfrequentversterker (3).

In de zender worden allereerst de trillingen met hoge frequentie (H.F.trillingen) opgewekt; het gedeelte van de zender, waarin dit geschiedt, noemt men het generator- of oscillatorgedeelte (4). Deze trillingen hebben een constante amplitude en frequentie. Ook deze trillingen worden eerst versterkt (5) en daarna aan een trap toegevoerd, waar tevens de versterkte L.F. trillingen binnenkomen (6). De L.F. trillingen (afkomstig van muziek of spraak) worden in deze trap als het ware geënt op de H.F.trillingen. De technische term voor dit enten is *moduleren*. De H.F.trillingen zijn dus als het ware de dragers van de L.F.trillingen; zij worden ook *draaggolf* van de L.F.trillingen genoemd.

Dit moduleren of beinvloeden van de draaggolf kan op verschillende manieren plaats hebben:

1. Men kan de *amplitude* van de hoogfrequente draaggolf variëren in het laagfrequente rhythme (*amplitude-modulatie*).
2. Men kan de *frequentie* van de hoogfrequente draaggolf variëren in het rhythme van de laagfrequente trillingen (*frequentie-modulatie*).

Beide methoden zijn momenteel in gebruik. Aangezien echter voor omroepdoeleinden nog steeds hoofdzakelijk de eerste methode wordt toegepast, zullen wij in het vervolg uitsluitend met gemoduleerde draaggolven met "amplitude-modulatie" rekening houden. Fig. 1a geeft dan ook de bewerkingen voor het ontstaan van een amplitude-gemodu-



De opwekking van een gemoduleerde draaggolf in de zender. De geluidstrillingen (1) worden door middel van de microfoon (2) in electrische trillingen omgezet. Deze trillingen worden in L.F. versterkers (3) versterkt en daarna aan de zender toegevoerd. In de zender worden de H.F. trillingen (4) opgewekt, versterkt (5) en daarna met de L.F. trillingen (3) gemoduleerd (6). Tenslotte worden de gemoduleerde trillingen door de antenne (7) uitgestraald.

Fig. 1a

leerde draaggolf weer.

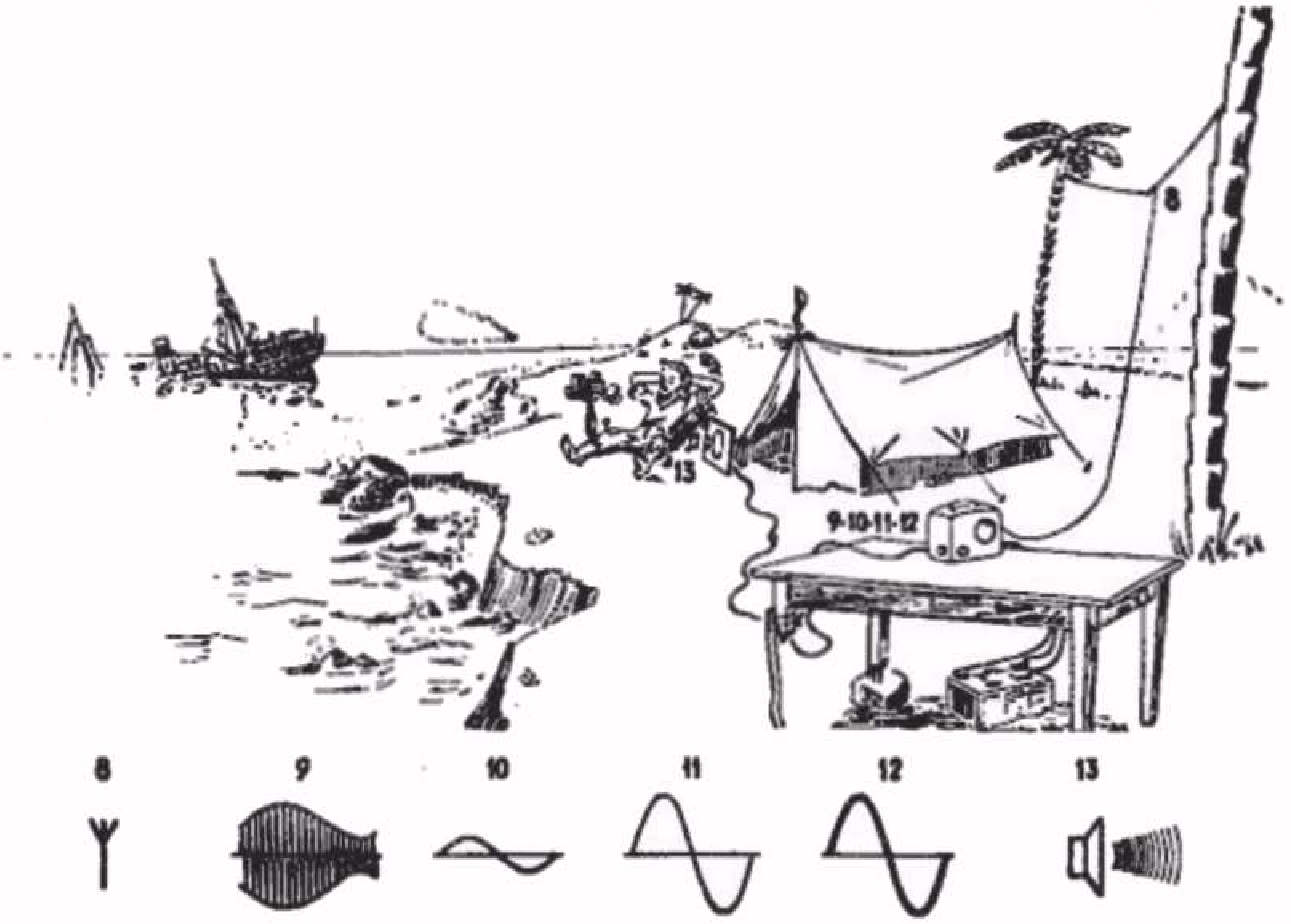
De gemoduleerde trillingen worden vervolgens aan de zendantenne (7) toegevoerd, welke deze trillingen uitstraalt.

52. Het ontvangtoestel

Het ontvangtoestel heeft nu tot taak de op de antenne ontvangen signalen, dit zijn de gemoduleerde trillingen (beeld 6 in fig. 1a), zodanig te bewerken, dat alleen de modulatie (d.i. de L.F. trilling)

Illustratie van de trillingsoverdracht via een draaggolf. De brief (L.F.-trilling) wordt via de post en trein (draaggolf) getransporteerd naar de plaats van bestemming. Daar zorgt de postbode voor de bezorging (ontvanger) en wordt de brief tenslotte gelezen (luidspreker).

Fig. 2



Een beeld van de verschillende bewerkingen van de ontvangen trillingen in de ontvanger. De op de antenne (8) binnen gekomen trillingen worden eerst geselecteerd. Daarna wordt van de gewenste gemoduleerde trilling (9) de L.F. trilling (10) (modulatie) afgenomen. Deze wordt versterkt (11) en (12) en tenslotte aan de luidspreker toegevoerd (13), waar zij in geluidstrillingen worden omgezet.

Fig. 1b

overblijft en deze na voldoende versterking aan de luidspreker toe te voeren. Deze bewerkingen zijn in principe in fig. Ib weergegeven. Op de antenne (8) komen de trillingen van de verschillende zenders binnen, zodat men in het ontvangtoestel moet beginnen een zeef aan te brengen, die de H.F. trillingen met verschillende frequenties kan scheiden. Dit uitkiezen of selecteren van de verschillende H.F. trillingen geschiedt door middel van afstemkringen (zie paragraaf 54). De gewenste gemoduleerde H.F. trilling (9) wordt nu aan de z.g. detector toegevoerd, die de L.F. trillingen losmaakt van de draaggolf. Men houdt daarna de L.F. trilling (10) over. De door de detector afgeleverde L.F. spanning is echter te zwak om een luidspreker voldoende te laten werken. Daarom wordt de L.F. spanning meestal eerst versterkt (11) en daarna aan een trap toegevoerd, die de vereiste L.F. energie (12) kan leveren om de luidspreker (13) te voeden. De luidspreker zet tenslotte de electrische trillingen in geluidstrillingen om.

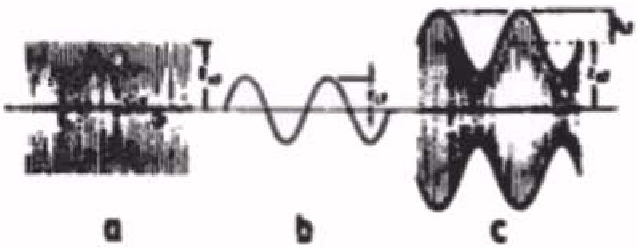
Een ontvanger, waarin men bovenstaande bewerkingen in deze volgorde toepast, noemt men een "rechtuit"- of "cascade"- ontvanger.

Tegenwoordig maakt men weliswaar hoofdzakelijk z.g. superhetero-

dyne ontvangers. Wij zullen ons echter voorlopig uit overwegingen van eenvoud beperken tot de problemen van de cascadeontvanger.

53. De gemoduleerde draaggolf

In fig. 3 zijn de verschillende stadia van het ontstaan van een gemoduleerde draaggolf apart getekend. In fig. 3a is de draaggolf met constante amplitude getekend.
In fig. 3b is de laagfrequenttrilling weergegeven, terwijl in fig. 3c de combinatie van beide trillingen is afgebeeld. De mate van beinvloeden van de H.F. trilling door de L.F. trilling drukt men



a) draaggolf met constante amplitude E_{HF}
b) L.F. trilling met amplitude E_{LF}
c) gemoduleerde draaggolf, waarvan

$$\frac{E_{LF}}{E_{HF}} = 0,5$$

Fig. 3

uit in de "modulatiediepte". De modulatiediepte is de verhouding van de amplitude van de L.F. trilling tot die van de ongemoduleerde draaggolf. De modulatiediepte, die men in procenten uitdrukt, is dus gelijk aan:

$$\text{modulatiediepte} = \frac{\text{amplitude L.F. trilling}}{\text{amplitude H.F. trilling}} \times 100\% = \frac{E_{LF}}{E_{HF}} \times 100\%.$$

In fig. 3c is de modulatiediepte 50%.

De voortplantingssnelheid van de H.F. electrische trillingen is even groot als die van de trillingen waaruit de lichtstralen bestaan; ze bedraagt ca. 300.000 km per seconde. De golflengte, d.i. de afstand die een trilling in 1 periode aflegt (zie les 9) is gelijk aan:

$$\text{golflengte} = \frac{300.000.000}{\text{frequentie (Hz)}} \text{ meter}^{x)}$$

Voor een H.F. trilling met een frequentie van 1 MHz = 1000.000 Hz is dus de golflengte:

$$\text{golflengte} = \frac{300.000.000}{1.000.000} = 300 \text{ meter}$$

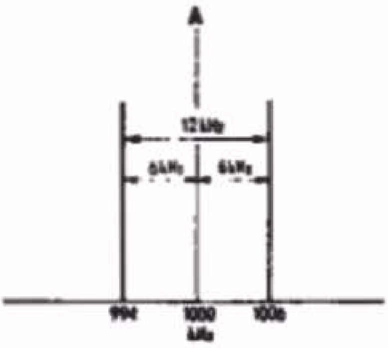
Men spreekt daarom zowel over de golflengte als over de frequentie van een zender. Voor de omroep maakt men hoofdzakelijk gebruik van radiogolven met golflengten die liggen in de volgende bereiken:

---

x) Men gebruikt voor de golflengte het symbool λ (spreek uit lambda); de λ is de Griekse letter l.

1) lange golven	:	van 600 - 2.000 m
2) middengolven	:	van 200 - 600 m
3) korte golven	:	van 10 - 200 m
4) ultra korte golven	:	kleiner dan 10 m

Tot nu toe hebben wij het doen voorkomen, alsof de zender slechts één golf uitzendt: de draaggolf, die weliswaar gemoduleerd is. Het blijkt echter, dat een gemoduleerde draaggolf samengesteld is uit trillingen met verschillende frequenties. Een draaggolf die b.v. met een enkele frequentie is gemoduleerd, is samengesteld uit 3 verschillende trillingen, waarvan de frequenties gelijk zijn aan de frequentie van de draaggolf zelf, de som van de draaggolf- en modulatiefrequentie en het verschil van beide frequenties. Is de draaggolffrequentie b.v. 100 kHz en de frequentie van de modulerende spanning 1000 Hz = 1 kHz, dan zal deze gemoduleerde draaggolf bestaan uit drie trillingen, waarvan de frequenties zijn 99 kHz, 100 kHz en 101 kHz.



Als een draaggolf A met een frequentie 1000 kHz is gemoduleerd met een frequentie van 6 kHz, ontstaan naast de draaggolffrequentie twee zijfrequenties gelijk aan 1000+6 = 1006 kHz en 1000 - 6 = 994 kHz.

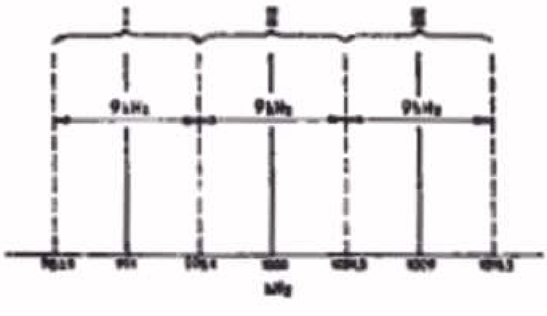
Fig. 4

Gaan wij er van uit, dat alle geluidstrillingen tussen 50 en 6000 Hz goed moeten worden overgedragen, d.w.z. dat de L.F. modulatiefrequenties van 50 tot 6000 Hz goed moeten overkomen, dan moeten wij er mee rekenen, dat naast de draaggolf trillingen ontstaan, waarvan de ene een frequentie van max. 6000 Hz groter, en de ander een frequentie van max. 6000 Hz kleiner dan die van de draaggolf bezit. In de practijk zal men zelden de draaggolf met één frequentie moduleren,,doch met verscheidene tegelijk. Tijdens een muziekuitzending worden b.v. tientallen geluidstrillingen met verschillende frequenties tegelijkertijd door de microfoon in electrische trillingen omgezet. Een draaggolf, gemoduleerd met trillingen afkomstig van deze muziek, zal dus opgebouwd zijn uit even zovele golven met verschillende frequenties, die aan weerszijden van de draaggolffrequentie liggen. Dit heeft tot gevolg, dat een zender een bepaald frequentiegebied in beslag neemt. Men noemt dit gewoonlijk de frequentieband van de zender of een kanaal. De frequentiebanden aan weerszijden van de draaggolffrequentie noemt men de zijbanden. De breedte van de zijband is gelijk aan de hoogste modulatiefrequentie die men wil overbrengen. In het bovengenoemde voorbeeld was de hoogste modulatiefrequentie 6 kHz. Uit frequentie-oogpunt zou een zender bij deze modulatiefrequentie een frequentieband in beslag nemen die gelijk is aan 2 x 6 = 12 kHz.

Wij hebben in de voorgaande les gezien, dat het frequentiegebied van het geluid eigenlijk veel groter is en men zou uit kwaliteitsoverwegingen er naar willen streven om het volledige frequentiegebied van het geluid over te brengen. Uit practische overwegingen is dit echter niet mogelijk. Het middengolfgebied bestrijkt b.v. een fre-

quentiegebied van 500 - 1500 kHz. Dit geeft dus een frequentieruimte van 1500 - 500 = 1000 kHz. Zou men nu de zenders willen gaan moduleren met als hoogste frequentie 15000 Hz = 15 kHz, dan zou elke zender een frequentieband van 30 kHz in beslag nemen. Men heeft ter beschikking 1000 kHz, zodat in het middengolfgebied plaats zou zijn voor $\frac{1000}{30}$ = 33 zenders. Intussen is het aantal omroepzenders dermate toegenomen, dat er een waar gedrang in het frequentiegebied is ontstaan, zodat men internationaal is overeengekomen, dat de afstand der draaggolffrequenties een bepaald minimum bedrag moet bedragen. Voor Europa is deze afstand op 9 kHz gesteld, voor Amerika b.v. op 10 kHz.

Dit betekent voor de Europese landen, dat voor elke zender een frequentieband van 9 kHz beschikbaar is en dat elke zijband een breedte heeft van 4½ kHz. De hoogste frequentie van de modulerende trilling mag dus feitelijk 4½ kHz niet overschrijden. Men krijgt dan het beeld van fig. 5.



Elke zender heeft een frequentieband van 9 kHz ter beschikking. De onderlinge frequentie-afstand tussen de zenders is dus eveneens 9 kHz.

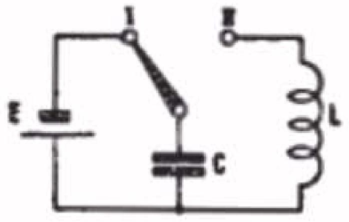
Fig. 5

54. De afstemkring

In de ontvang-antenne worden nu door de gemoduleerde draaggolven van de verschillende zendstations spanningen geinduceerd, die verschillende frequenties bezitten. Wij hebben dus allereerst een zeef nodig, die alleen de gewenste zender met het bepaalde muziekprogramma doorgeeft. De selectie (het kiezen van de zenders) geschiedt met behulp van afstemkringen. Het is logisch, dat men een dergelijke afstemkring opbouwt uit elementen, waarvan de eigenschappen afhankelijk zijn van de frequentie. Uit de lessen 7 en 8 hebben wij geleerd, dat de condensator en de spoel een frequentie-afhankelijk karakter bezitten. De wisselstroomweerstand van de spoel neemt toe met de frequentie, die van de condensator neemt af met de frequentie.

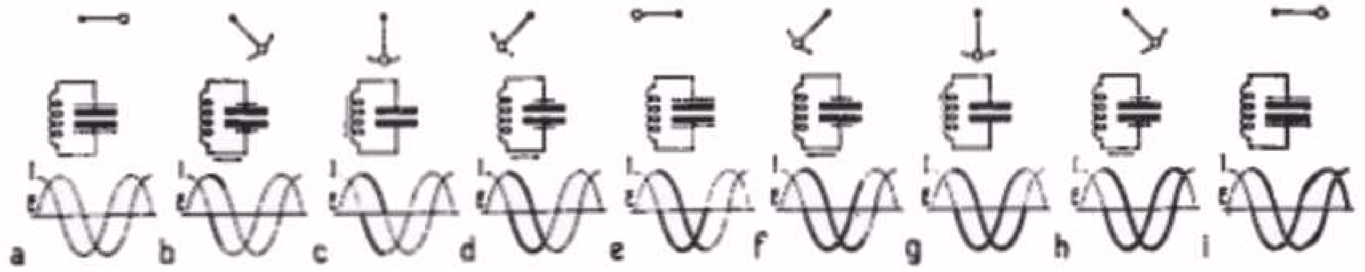
Een afstemkring bestaat altijd uit een combinatie van een spoel en een condensator. Wij zullen daarom eerst het gedrag van deze combinatie onder verschillende omstandigheden bekijken. Daartoe gaan wij uit van fig. 6, waarin de condensator C via de schakelaar in stand I wordt opgeladen door de batterij E. Daarna wordt de schakelaar in stand II gebracht. Wat er nu gaat gebeuren, willen wij aan de hand van fig. 7a t/m i stap voor stap volgen.

In fig. 7a is de toestand, onmiddellijk na het overschakelen in stand II, voorgesteld. De condensator is dus geladen.



Stand I van schakelaar: De condensator C wordt door de batterij opgeladen. Stand II van schakelaar: De spoel is parallel aan de condensator geschakeld, waardoor een electrische trilling in deze kring ontstaat. Fig. 6

Nu zal de condensator zich gaan ontladen over de spoel I; de overmaat aan electronen op de bovenste plaat zal zich via de spoel naar de onderste plaat, die positief is en dus een tekort aan electronen heeft, verplaatsen. Er zal dus een electronenstroom gaan vloeien in de richting van de pijl, aangegeven in fig. 7b. Door deze stroomverplaatsing ontstaat in de spoel een inductiespanning, die een zodanige richting heeft, dat zij de stroomverandering tracht tegen te wer-



Verschillende fazen van het ontstaan van een electrische trilling in een kring. Bovenaan de figuren zijn tevens de overeenkomstige posities van een slingerende kogel getekend.

Fig. 7

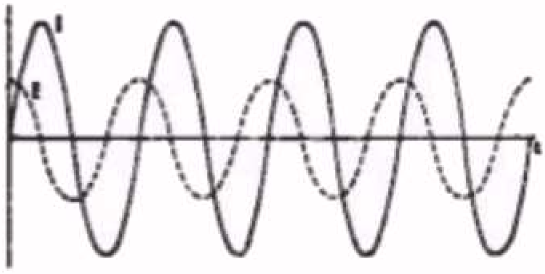
ken. De ontlading van de condensator C zal zich voortzetten tot de condensator volledig ontladen is (fig. 7c), waarbij de stroom in de kring zijn maximale waarde bereikt.

Bij geheel ontladen condensator is er geen spanning meer over de spoel, zodat er geen reden is om de stroom in de spoel nog groter te laten worden of gelijk te houden. De stroom neemt dan ook in waarde af.

Hiertegen verzet de spoel zich echter, zodat nu de inductiespanning een richting krijgt, die zich verzet tegen het afnemen van de stroom. De stroom zal dus blijven voortvloeien en de condensator C in tegengestelde richting gaan opladen (fig. 7d). Dit opladen gaat door tot de spanning over de condensator C haar maximale waarde heeft bereikt (fig. 7e). Wij hebben nu in principe dezelfde toestand gekregen als waarin begonnen werd, met dit verschil, dat de condensator in tegengestelde richting is opgeladen. Er heeft eigenlijk een uitwisseling van energie tussen condensator en spoel plaats gehad. De condensator was eerst opgeladen, zodat op de platen een zekere hoeveelheid energie aanwezig was. Deze energie wordt omgezet in de spoel in magnetische energie, waarna deze magnetische energie weer wordt omgezet in de electrische energie op de condensator. De zelfde verschijnselen spelen zich daarna af in tegengestelde richting (zie fig. 7f t/m i), zodat in de laaste faze (fig. 7i) weer dezelfde toestand is bereikt als aan het begin in fig. 7a.

In fig. 7 is tevens het verloop van de spanning over de condensator en de stroom in de kring afgebeeld. U ziet dat in de kring een sinusvormige wisselstroom is ontstaan; men spreekt wel van een trilling, en dat de kring in trilling is geraakt. Als de spoel en de condensator zonder verliezen zouden zijn, zou men een eeuwig durende trilling in de kring krijgen, d.w.z. men zou een eeuwig durende uitwisseling van de energie van de condensator naar de spoel en omgekeerd krijgen. Er zou dan een sinusvormige wisselstroom ontstaan met een constante amplitude; men noemt dit een ongedempte trilling. Fig. 8 geeft hiervan een beeld.

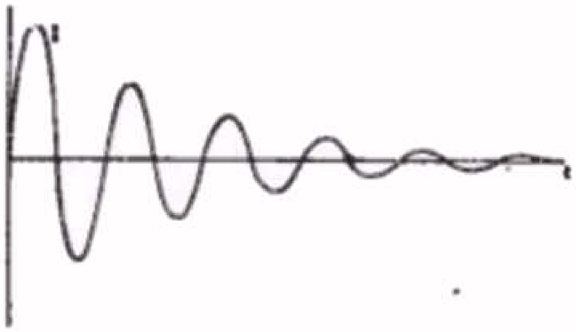
Zoals wij in de lessen 7 en 8 hebben gezien, zijn de spoel en de condensator echter nimmer zonder weerstand. Deze weerstand zetelt vooral in de spoel in de vorm van de ohmse weerstand van de draad en de toename daarvan tengevolge van het z.g. skineffect. Dit heeft tot gevolg, dat bij elke uitwisseling van energie van de condensator naar de spoel en omgekeerd, enige energie verloren gaat in deze weerstand. De amplitude van de stroom in de kring en van de spanning over de kring zal dientengevolge steeds kleiner worden en de trilling zal na een bepaalde tijd, afhankelijk van de grootte van de weerstand, uitsterven. Men krijgt dan het beeld van fig. 9. Men noemt een dergelijke trilling een gedempte trilling.



Een sinusvormige stroom en spanning met constante amplitude noemt men een ongedempte trilling.

Fig. 8

Het trillingsverschijnsel in een kring kan men zeer eenvoudig en duidelijk demonstreren met een mechanische slinger, b.v. een kogel die aan een dunne draad is opgehangen. In fig. 7 zijn bovenaan de verschillende posities van een slingerende kogel weergegeven. In de eerste positie is de kogel horizontaal gehangen. De kogel heeft als het ware een voorspanning, onder invloed waarvan hij zal gaan bewegen. In positie c heeft hij de rusttoestand bereikt, maar door de snelheid, die hij verkregen heeft, slingert hij door. In de positie c is de voorspanning dus nul, maar de snelheid het grootst. Dit correspondeert met de electrische situatie in de kring, waarin de stroom zijn grootste waarde heeft op het moment, dat de spanning over de condensator nul is. In positie e heeft de kogel zijn andere uiterste stand bereikt; daarna slingert hij terug, passeert het nulpunt (pos.g) en bereikt weer zijn uiterste stand, die overeenkomt met de beginstand. Op dat moment is een volledige heen- en weer slingering volbracht; in de kring was dan een complete periode van de sinusvormige stroom volbracht.



Voorbeeld van een gedempte trilling.

Fig. 9

Indien de kogel in het geheel geen weerstand zou ondervinden, zou eveneens een eeuwig durende slingering ontstaan met een constante amplitude. In werkelijkheid ondervindt de kogel echter terdege weerstand. Deze weerstand ontstaat door de wrijving in zijn ophangpunt en door de weerstand die de lucht biedt. Dit heeft tot gevolg, dat de kogel op de duur uitslingert en tot rust komt.

De tijd, waarin een trilling in een kring tot stand komt, d.w.z. van een periode, hangt af van de grootte van de capaciteit en van de zelfinductie. Een grote capaciteit kan een grote lading herbergen. Het opladen en het ontladen van een grote capaciteit zal dan echter meer tijd nemen. Het zelfde geldt voor de grootte van de zelfinductie van de spoel. Een grote zelfinductie veroorzaakt een sterker magnetisch veld, waardoor de vereiste tijd voor het opbouwen van het veld groter zal zijn dan in het geval van een kleinere zelfinductie. Als de tijd groter is, betekent dit, dat er minder perioden per seconde volbracht worden, dus dat de frequentie lager is. *De frequentie van de opgewekte trilling is dus afhankelijk van de grootte van de capaciteit en van de zelfinductie. Zij wordt groter, naarmate de capaciteit en de zelfinductie kleiner zijn en omgekeerd.*

Men kan bewijzen, dat de frequentie van een trilling in een kring wordt bepaald door de formule:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{6,28\sqrt{LC}}$$

waarin f = frequentie in Hz
L = zelfinductie in Henry
C = capaciteit in Farad.

Voorbeelden

1. Een spoel met een zelfinductie van 2 mH en een condensator van 500 pF vormen samen een kring. Wat is de frequentie van de kringstroom, als een bepaalde lading op de condensator wordt aangebracht?
De frequentie berekenen wij uit bovenstaande formule. Vullen wij hierin de waarden van L en C in, dan krijgen wij:

$$f = \frac{1}{2 \times 3,14\sqrt{\frac{2}{1000} \times \frac{500}{1.000.000.000.000}}}$$

$$= \frac{1}{6,28\sqrt{\frac{1000}{1.000.000.000.000.000}}}$$

$$= \frac{1}{6,28\sqrt{\frac{1}{1.000.000.000.000}}}$$

$$= \frac{1}{6,28 \cdot \frac{1}{1.000.000}} = \frac{1.000.000}{6,28} = \text{ca. } 160.000 \text{ Hz} = \text{ca. } 160 \text{ kHz}$$

2. Een kring bestaande uit een condensator en een spoel moet in een frequentie van 500 kHz gaan trillen. De spoel heeft een zelfinductie van 1 mH. Hoe groot moet de capaciteit van de condensa-

tor zijn?

Wij gaan weer uit van de formule:

$$f = \frac{1}{2\,\pi\sqrt{LC}}$$

De moeilijkheid is nu, dat de capaciteit C onder het wortelteken voorkomt. Wij gaan daarom eerst deze formule in het kwadraat verheffen (voor het begrip kwadraat zie men les 6, par. 29b). Wij krijgen dan:

$$f^2 = \frac{1}{4 \times 10 \times L \times C}$$

(Hierin zijn reeds de kwadraten van 2 en π ingevuld).

C wordt nu:

$$C = \frac{1}{40 \times f^2 \times L}$$

$$C = \frac{1}{40 \times 500.000 \times 500.000 \times \frac{1}{1000}}$$

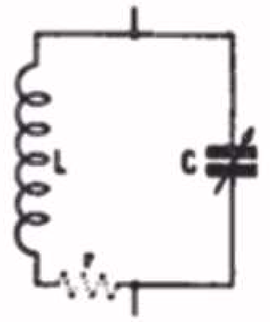
$$C = \frac{1}{10.000.000.000}\ F = 100\ pF$$

Uit het bovenstaande bleek, dat een kring uitslingert als men een bepaalde energie heeft toegevoerd en de kring daarna aan haar lot overlaat. In het ontvangtoestel is de situatie echter anders. Hierin wordt aan de kring een wisselstroom met een bepaalde frequentie toegevoerd; de kring wordt dus niet aan zichzelf overgelaten en krijgt nu geen kans om uit te slingeren.

In tegendeel, er zal in de kring een electrische trilling aan de gang gehouden worden, waarvan de grootte o.a. van het feit zal afhangen, of de frequentie van de toegevoerde stroom gelijk is aan de eigen trillingsfrequentie (zie formule op voorgaande bladzijde) van de kring. Men zegt dan dat de kring in resonantie is, d.w.z. meetrilt in de frequentie van de stroom, die aan de kring wordt toegevoerd. Men kan dit weer direct inzien als men teruggrijpt naar de slingerende kogel. De kogel slingerde uit ten gevolge van de luchtweerstand en de demping in zijn ophangpunt. Als men nu iedere keer als de kogel zijn ene amplitude bereikt, een zetje geeft, krijgt de kogel energie toegevoerd en zal hij aan het slingeren blijven. Het extra zetje moet echter steeds op het juiste moment gegeven worden, d.w.z. op het moment dat de kogel in zijn uiterste stand is. Het rhythme waarin deze zetjes worden gegeven moet dus gelijk zijn aan het rhythme van de slingering van de kogel.

Zoals reeds in het voorgaande gezegd, bevindt zich in elke kring een bepaalde verliesweerstand, die men door een gewone Ohmse weerstand voorstelt. Als men echter het schema van een ontvangtoestel bekijkt, zal men nimmer deze weerstand in het schema getekend zien. Men zou echter een kring feitelijk moeten tekenen zoals in fig. 10 is weergegeven. Wij hebben hierin opzettelijk de weerstand

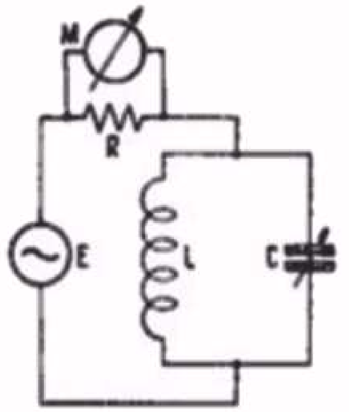
gestippeld getekend, omdat hij in parasitaire vorm aanwezig is. Verder denkt men in een dergelijk schema de spoel en de condensator volkomen verliesvrij.



Principeschema van een parallelkring. Fig. 10

Om het gedrag van een parallelkring nader te bekijken, gaan we deze kring schakelen volgens fig. 11. Deze kring bestaat uit een spoeltje met een zelfinductie van 15,4 mH (waarvan de verliesweerstand ca. 100 Ohm is) en een condensator van 17500 pF[x)]

De kring wordt aangesloten via een weerstand van 100 Ohm, waarover een wisselspanningsmeter geschakeld is, op de uitgangsklemmen van een toongenerator (een toongenerator is een instrument, dat een constante wisselspanning voor verschillende frequenties in het hoorbare gebied kan leveren). Men stelt nu de toongenerator bij een spanning van 10 V op verschillende frequenties in en men noteert daarbij de waarden van de gemeten spanning. (De stroom vindt men dan door de gemeten spanning te delen door de weerstand van 100 Ohm). Wij hebben deze stroomwaarden in onderstaande tabel verzameld:



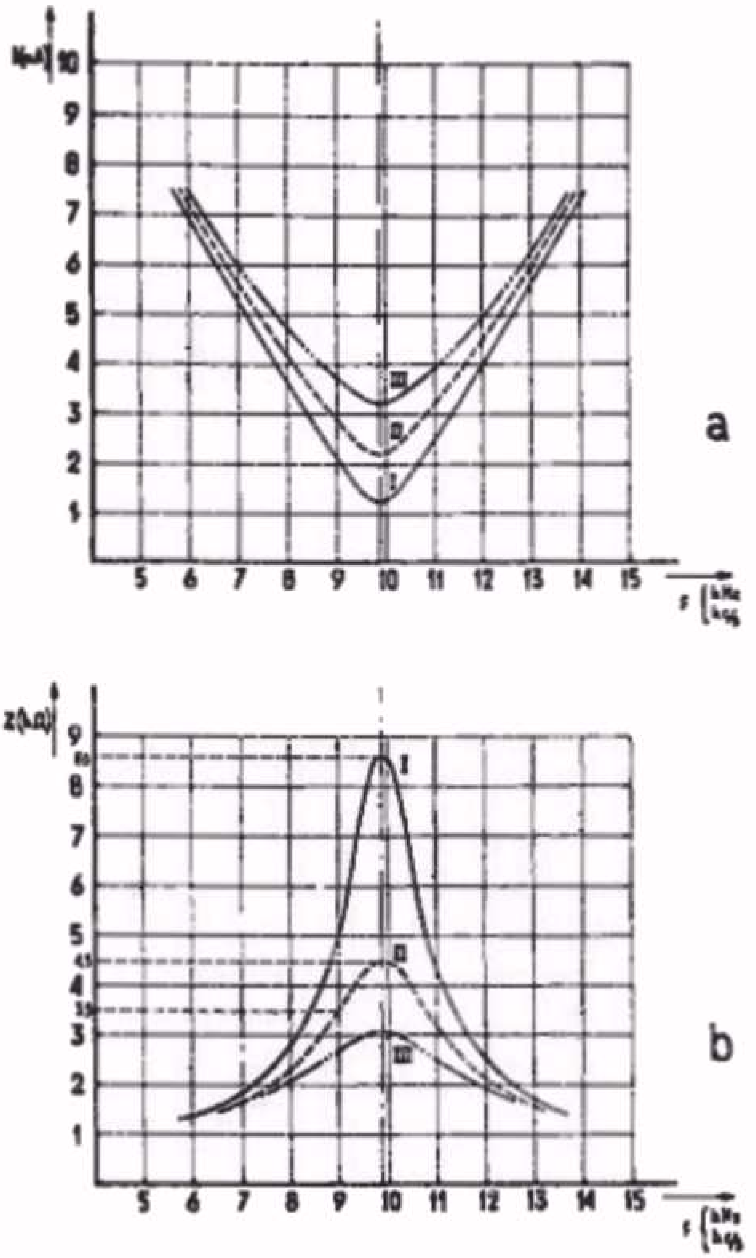
Schema voor het opnemen van een resonantiekromme van een parallelkring bij lage frequenties.
E = toongenerator
R = weerstand van 100 Ohm
M = wisselspanningmeter

Fig. 11

f (kHz)	I (mA)	Z $(= \frac{E}{I})$ (kΩ)
7	5,3	1,9
7,5	4,5	2,2
8	3,6	2,8
8,5	2,8	3,6
9	2	5
9,5	1,4	7,2
9,8	1,16	8,6
10	1,18	8,5
10,5	1,7	6
11	2,4	4,2
11,5	3,2	3,1
12	4	2,5
12,5	4,8	2,1
13	5,6	1,8

x) Wij hebben voor deze proef de onderdelen van een z.g. fluitfilter genomen, dat in vele Philips ontvangapparaten wordt toegepast. Wil men eventueel zelf de proef nemen, dan kan men hiervoor gebruiken de spoel codenummer A1 000 68.2 en een condensator van 17500 pF.

Het blijkt, dat de stroom bij een bepaalde frequentie (9,8 kHz) een minimale waarde heeft. Hieruit volgt, dat de wisselstroomweerstand (of impedantie)[x] voor deze frequentie het grootst is.



a) De stroom naar de parallelkring van fig. 12, afhankelijk van de frequentie van deze stroom.

b) De impedantie van de kring, afhankelijk van de frequentie.

Kromme I - de kring heeft een totale verliesweerstand van 100 Ohm.

Kromme II - de weerstand r is 200 Ohm.

Kromme III - de weerstand r is 310 Ohm.

Fig. 12

Voor frequenties die lager en hoger dan deze frequentie zijn, neemt de stroom door de weerstand R toe en neemt de impedantie van de kring dus af. In de derde kolom van bovenstaande tabel zijn de waarden van de impedanties van de parallelkring vermeld. Zet men de waarden uit de tabel in een grafiek uit, dan ontstaan de figuren 12a en b (Kromme I). In fig. 12a is op de horizontale as de frequentie uitgezet, op de verticale as de stroom.

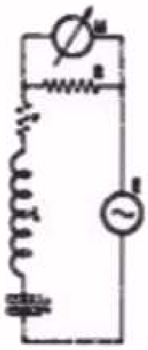
De waarden van de impedantie van de kring, afhankelijk van de frequentie, zijn in fig. 12b afgebeeld. Hierin ziet men dat de kring zijn grootste weerstand heeft bij een frequentie van 9,8 kHz en dat deze impedantie het grootst is als de verliesweerstand van de kring

---

x) Zodra een keten uit een samenstelling van een spoel en een condensator met weerstand bestaat, spreekt men van impedantie, in plaats van wisselstroomweerstand. Deze impedantie wordt aangegeven met Z.

het kleinst is[x]). De krommen II en III zijn gemeten voor een totale verliesweerstand van 200 Ω resp. 310 Ω.

Herhalen wij deze proef voor de serieschakeling van de spoel en de condensator, zodat men het schema van fig. 13 krijgt, en noteren wij hiervan eveneens de waarden van de stroom bij verschillende frequenties, dan ontstaat onderstaande tabel. De waarden van de impedantie Z zijn weer berekend uit de generator-spanning (die in dit geval 1 V bedraagt) en de gevonden stroom.



Schema voor het opnemen van een resonantiekromme van een seriekring bij lage frequenties.
E = toongenerator
R = weerstand van 15 Ohm
M = wisselspanningsmeter.

Fig. 13

f (kHz)	I (mA)	Z $(=\frac{E}{I})$ (Ohm)
7	1,6	625
7,5	2	500
8	2,5	400
8,5	3,4	295
9	4,8	205
9,5	7,3	140
9,8	8,9	110
10	8,8	113
10,5	5,9	170
11	4	250
11,5	3	39
12	2,2	450
12,5	1,7	580

Het merkwaardige feit treedt nu op, dat de stroom juist *maximaal* is bij de resonantie-frequentie. Verder blijkt deze resonantie-frequentie, bij gebruik van dezelfde spoel en condensator, dezelfde waarde te hebben als bij de parallelschakeling. Aangezien de generatorspanning constant gehouden is, volgt uit de wet van Ohm dat de impedantie van de seriekring bij de resonantie-frequentie het kleinst is en buiten resonantie in waarde toeneemt. Zet men de meetresultaten voor de serieschakeling in een grafiek uit, dan ontstaan fig. 14a en b. Hierin gelden de krommen I, II en III voor een verliesweerstand van de kring van 110 Ohm, 210 Ohm, resp. 320 Ohm.

---

x) Men kan bewijzen, dat de impedantie van een parallelkring, bij de resonantie-frequentie, gelijk is aan

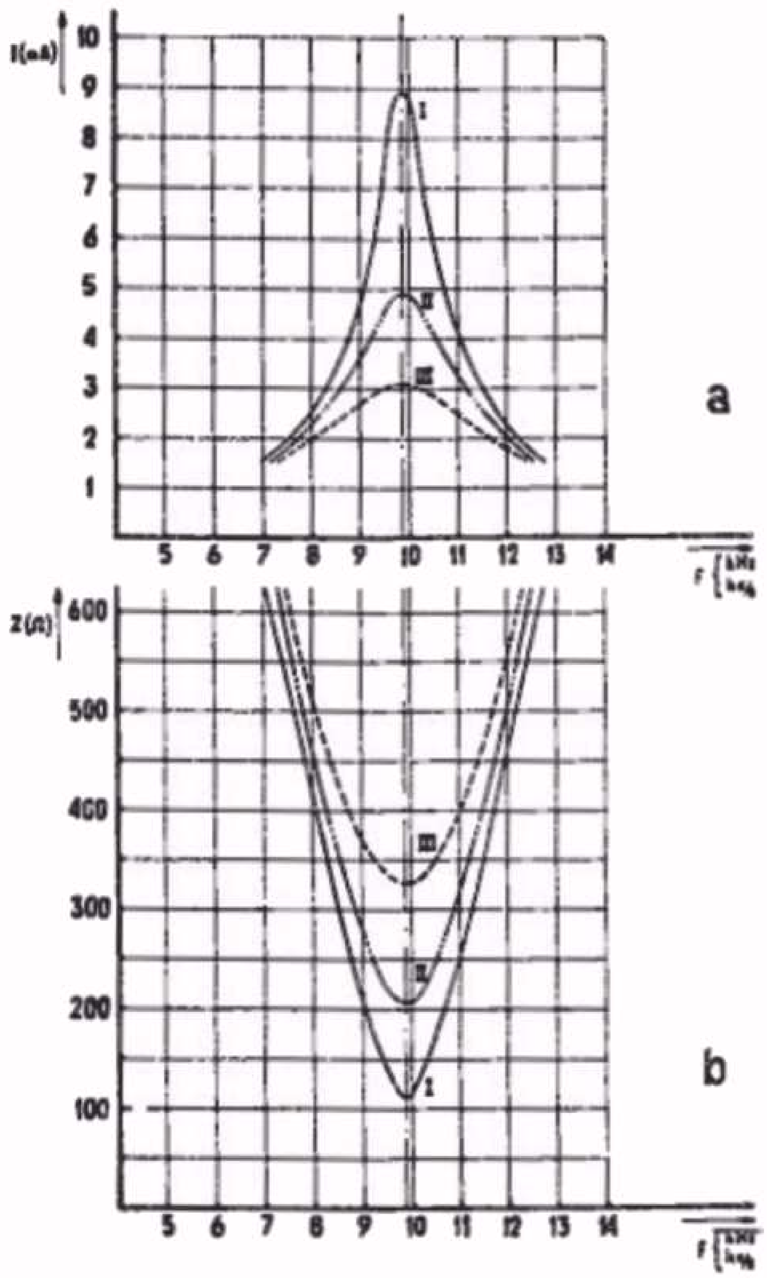
$$Z = \frac{L}{rC}$$

waarin L = zelfinductie in H
r = totale weerstand *in* de kring in Ohms
C = capaciteit in F.

Voor bovengenoemd voorbeeld geeft dit:

$$Z = \frac{0{,}0154}{100 \times \frac{17500}{1.000.000}} = \text{ca. } 8600 \text{ Ohm} = \text{ca. } 8{,}6 \text{ k}\Omega$$

Uit de formule volgt verder, dat een grotere verliesweerstand een kleinere kringimpedantie tot gevolg heeft, hetgeen ook reeds bij de metingen werd geconstateerd.



a. De stroom door de seriekring van fig. 14 afhankelijk van de frequentie.
b. de impedantie van de kring, afhankelijk van de frequentie.
Kromme I: De kring heeft een totale verliesweerstand van ca. 110 Ohm
Kromme II: De totale verliesweerstand is ca. 210 Ohm
Kromme III: De totale verliesweerstand is ca. 320 Ohm.

Fig. 14

Wij hebben uit fig. 12 gezien, dat de impedantie van een parallelkring groter is naarmate de verliesweerstand kleiner is. Verder bleek de impedantie het grootst te zijn bij de resonantie-frequentie, terwijl zij afnam naarmate de frequentie van de wisselspanning meer afweek van de resonantie-frequentie. Nu is de kring in het ontvangtoestel meestal zodanig geschakeld dat een constante wisselstroom aan de kring wordt toegevoerd. Hoe groter dan de impedantie is, des te groter zal de spanning over de kring zijn. Aangezien de impedantie van de kring afneemt als de kring buiten afstemming is, d.w.z. als de frequentie van de wisselspanning niet overeenkomt met de resonantie-frequentie van de kring, zal de spanning over de kring buiten afstemming kleiner zijn. Als men nu twee even grote stromen met verschillende frequenties aan de kring toevoert en de kring is afgestemd op één van deze frequenties, dan zullen over de kring wisselspanningen ontstaan, waarvan de grootte afhankelijk is van de frequentie en van de impedantie van de kring voor de betreffende wisselspanning. De wisselstroom met een frequentie, gelijk aan de resonantie-frequentie, zal een veel grotere spanning over de kring doen ontstaan dan de stroom met de afwijkende frequentie. Het verschil in spanning is afhankelijk van het frequentie-verschil en van de vorm van de resonantie-kromme (zie fig. 12). Vergelijken we in deze kromme het verschil in impedantie, waarmede de spanning evenredig is, voor een frequentie-verschil van 800 Hz, dan noteren we de volgende waarden:

Voor kromme I is de impedantie in resonantie gelijk aan 8,6 kΩ, bij 9 kHz (dus voor een verstemming van 800 Hz) 5 kΩ. De verhouding van beide impedantiewaarden levert het getal $\frac{5}{8,6} = 0,58$ op. Dit betekent dus, dat het signaal met een frequentie van 9 kHz 0,58 maal zwakker doorkomt t.o.v. het signaal van 9,8 kHz (resonantiefrequentie).

Voor de kromme II noteren we, bij dezelfde frequenties, de waarden 4,5 kΩ,en 3,5 kΩ, zodat hiervan de verhouding wordt 0.78. Bij deze kring wordt het signaal met dezelfde afwijkende frequentie minder sterk verzwakt dan in het geval van de kring van kromme I. Men noemt de kring van kromme I selectiever dan die van kromme II. *De eigenschap om stromen of spanningen met verschillende frequenties te selecteren noemt men de selectiviteit.*

Uit deze voorbeelden volgt dat de selecterende eigenschap des te beter is, naarmate de verliesweerstand van de kring kleiner is. Verder bleek uit het bovenstaande dat de impedantie van een parallelkring dan groter was. Blijkbaar is de kwaliteit van de kring in sterke mate afhankelijk van de verliesweerstand. Men drukt deze kwaliteit in een factor uit, de zogenaamde kwaliteitsfactor (gesymboliseerd door de letter Q)[x]

Hetzelfde geldt voor een seriekring. Uit fig. 14 ziet men, dat de seriekring des te selectiever is, naarmate de verliesweerstand in de kring kleiner is. De totale impedantie zal nu echter des te kleiner zijn naarmate de kwaliteit van de kring beter is. In dit opzicht is het gedrag van een seriekring juist tegengesteld aan dat van een parallelkring.

Schets van een spoelstel met variabele zelfinductie.

a = kern van ijzerpoeder

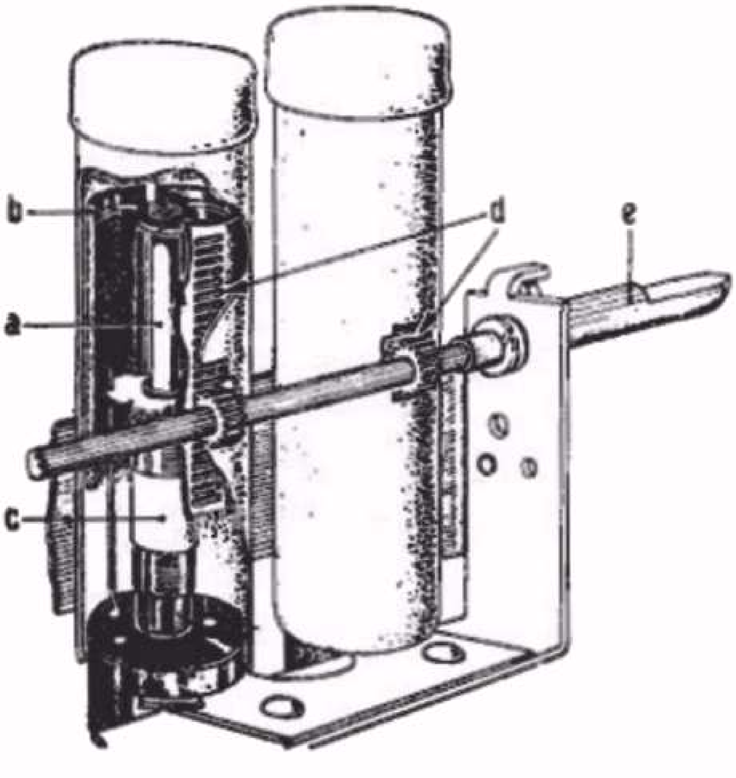
b = kernlichaam

c = spoel

d = tandradoverbrenging waarmede de kern <u>a</u> in de spoel <u>c</u> kan worden geschoven.

e = draaias.

Fig. 15



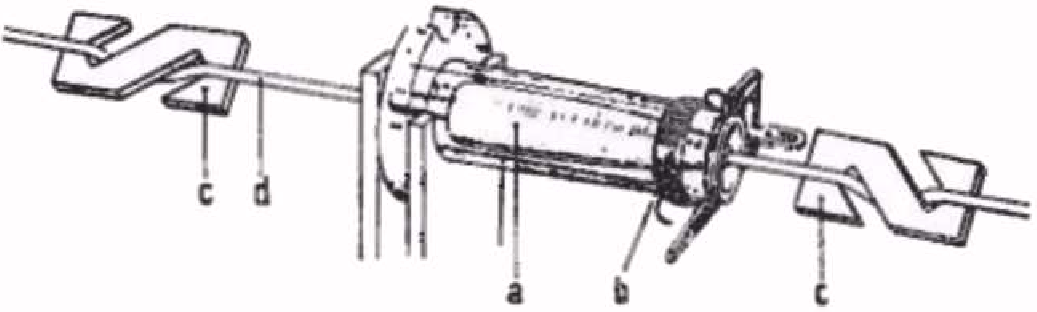
---

x) Voor deze factor Q geldt de formule: $Q = \frac{6,28\ fL}{r}$

waarin f = frequentie in Herz
L = zelfinductie in H
r = verliesweerstand in Ohm.

De kringen in het ontvangtoestel hebben gewoonlijk een kwaliteitsfactor Q tussen ca. 50 en 150.

Uit de formule op blz. 9 bleek, dat de resonantie-frequentie afhankelijk is van de waarde van de condensator en de zelfinductie. Men kan dus de resonantie-frequentie variëren door de capaciteit van de condensator of de zelfinductie van de spoel te veranderen. Voor een continue verandering van de capaciteit maakt men gebruik van de variabele condensator; voor een kleine verandering of bijregeling van de capaciteit gebruikt men de trimmers (zie les 8). In de meeste ontvangtoestellen wordt een variabele condensator gebruikt. In sommige apparaten maakt men echter ook wel gebruik van een veranderlijke zelfinductie. Fig. 15 toont een voorbeeld van een spoelstel met variabele zelfinductie. Hierin wordt een kern "a" meer of minder in het spoelstel "c" geschoven. Dit geschiedt via de draaias "e" en de tandradoverbrenging "d", waarmee het kernlichaam "b" op en neer kan worden geschoven. Naarmate de kern meer in de spoel wordt geschoven, wordt de zelfinductie groter. Deze kern is van speciaal magnetisch materiaal gemaakt (zie hiervoor ook par. 38B, les 7).



Schets van een variabele zelfinductie voor bijregeling van een kring.

a = metalen kogel, bevestigd op aandrijfkoord d.

b = spoel

c = klemplaatjes, die de afstand, waarover de spoel zich kan verplaatsen, bepaalt.

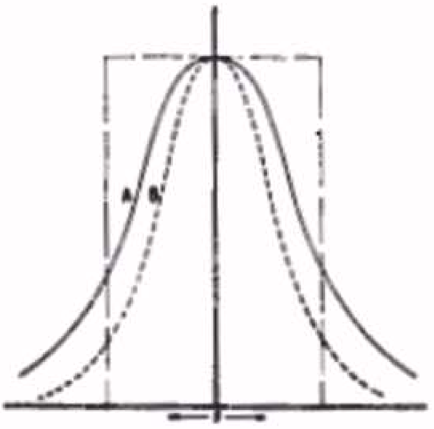
Fig. 16

Fig. 16 toont een andere uitvoering van een variabele zelfinductie. Hierbij wordt een metalen kogel "a", die op het aandrijfkoord van de afstemming is bevestigd, meer of minder in de spoel "b" geschoven. De zelfinductie wordt hierbij kleiner naarmate de metalen kogel meer in de spoel wordt gebracht. Het in resonantie brengen van de kring door middel van verandering van de capaciteit of de zelfinductie noemt men afstemmen.

Uit de formule op blz. 9 volgt verder hoe groot het frequentiegebied is van een bepaalde afstemkring. Heeft men bij een bepaalde waarde van de spoel en de condensator een frequentie van 500 kHz, en varieert men de capaciteit van de condensator zodanig dat deze 9 maal zo klein is geworden, dan zal de frequentie 3 maal zo groot geworden zijn (de capaciteit staat in deze formule onder het wortelteken). Wij hebben in les 8 gezien, dat de maximum capaciteit van de variabele condensator ca. 500 pF bedraagt. Meestal staat parallel aan deze condensator nog een afregelcondensator of trimmer met een capaciteit van ca. 25 pF, terwijl bovendien de bedrading t.o.v. het chassis een bepaalde capaciteit (bv. ca. 15 pF) vertegenwoordigt (deze zgn. parasitaire capaciteit wordt gevormd door de bedrading als de ene plaat en het chassis als de andere plaat met lucht als diëlectricum). De totale capaciteit in de maximum stand van de condensator wordt dan 500 + 25 + 15 = 540 pF. De minimum capaciteit wordt bepaald door de nulcapaciteit van de variabele condensator in combinatie met de hiervoor genoemde capaciteiten van 25 + 15 pF.

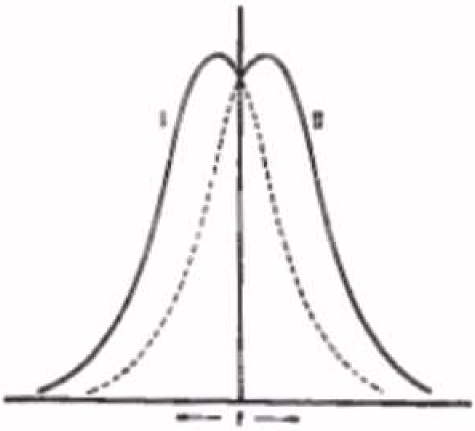
Stellen we de totale minimumcapaciteit op 60 pF, dan wordt de maximale capaciteitsvariatie 60 pF : 540 pF = 1 : 9. Zoals hierboven reeds vermeld, varieert de frequentie, waarvoor de kring in resonantie kan worden gebracht, in de verhouding 1 : 3.

Zoals wij in par. 53 hebben gezien, moeten de frequenties van de draaggolven van de verschillende zenders een onderling verschil hebben van 9 kHz. Men drukt de selectiviteit van de kringen van een ontvangtoestel gewoonlijk uit in de frequentieafwijking t.o.v. de resonantie-frequentie die nodig is om een verzwakking van 1/10 te verkrijgen. Het blijkt dan, dat men dit met een enkele kring niet kan verwezenlijken, zodat men meer kringen achter elkander gebruikt. Deze zin behoeft echter enige correctie. Uit oogpunt van selectiviteit zou men desnoods met 1 kring kunnen uitkomen. Deze kring zou echter een dermate scherpe top vertonen, dat de hoge modulatiefrequenties te sterk zouden worden verzwakt (zie bv. de krommen A en B in fig. 17). Uit par. 53 bleek immers, dat de zender een frequentieband uitzendt, zodat de afstemkromme een dusdanige vorm moet hebben dat de zijbanden onverzwakt worden doorgelaten. Men zou dus eigenlijk een afstemkromme met een rechthoekige vorm van fig. 17 willen hebben: een brede top en zeer steile flanken. Men zou de oplossing kunnen zoeken in het gebruik van meer afstemkringen die ten opzichte van elkander zijn verstemd (in televisie-ontvangers wordt dit inderdaad gedaan). De totale resonantiekromme krijgt dan het beeld van fig. 18. Voor het normale radio-ontvangtoestel is dit echter geen practische oplossing, omdat men bij het gebruik van meer kringen de variabele afstemcondensator door middel van één knop wil bedienen (de zgn. éénknopsafstemming). De oplossing heeft men gevonden in het gebruik van gekoppelde kringen (bandfilters).



Twee voorbeelden (A en B) van een resonantie-kromme van een enkele kring. De hogere modulatiefrequenties worden hierbij sterk verzwakt. De rechthoek geeft de vorm van een ideale resonantiekromme.

Fig. 17

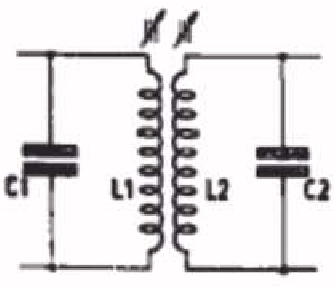


Resonantiekrommen van twee ten opzichte van elkander verstemde kringen. De totale resonantiekromme wordt weergegeven door de getrokken lijn I - II.

Fig. 18

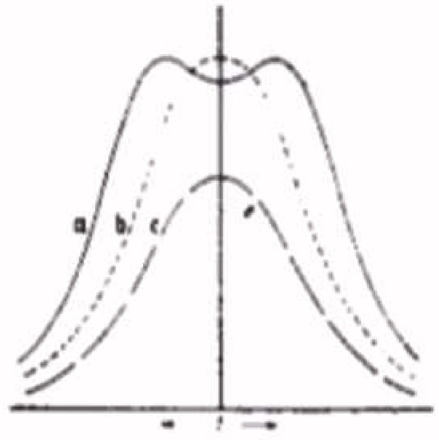
55. Het bandfilter

In les 7 is de magnetische koppeling tussen twee spoelen behandeld. Hierbij hebben wij gezien dat de mate van koppeling werd uitgedrukt in de coëfficiënt van



Principeschema van twee magnetisch gekoppelde kringen (bandfilter).

Fig. 19



Resonantiekromme van een bandfilter

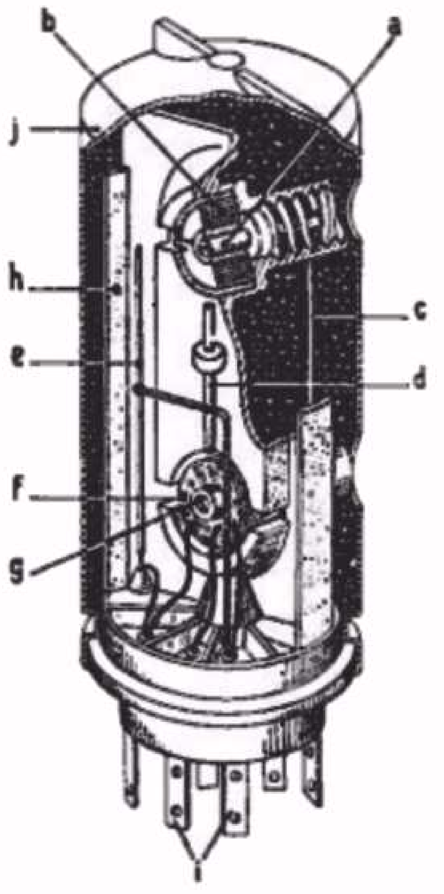
a - voor overcritische koppeling

b - voor critische koppeling

c - voor ondercritische koppeling

Fig. 20

wederzijdse inductie. Door deze koppeling wordt het veld van de koppelende spoelen wederzijds beinvloed. Gebruikt men nu twee afstemkringen, waarvan men de spoelen magnetisch met elkander koppelt, dan wordt het gedrag van beide kringen wederzijds beinvloed. Als de koppeling heel zwak is, verkrijgt men een totale resonantie-kromme die dezelfde vorm heeft als die van een enkele kring (fig. 20a). Maakt men de koppeling vaster, dan zal de impedantie van het geheel toenemen, waardoor kromme b ontstaat. Ook deze kromme heeft nog een enkele top. Maakt men de koppeling nog vaster, dan zal de resonantie-kromme twee toppen verkrijgen (fig. 20c), in dezelfde geest als het geval was bij de totale resonantie-kromme van twee ten opzichte



Constructieschets van een magnetisch gekoppeld bandfilter.

a = inschroefbare "Ferroxcube" kern

b = spoel van de ene kring

c = vaste keramische condensator parallel aan spoel b

d = koppelings-staafje van "Ferroxcube"

e = vaste keramische condensator parallel aan spoel f

f = spoel van de andere kring

g = inschroefbare "Ferroxcube" kern

h = spoelhouder van isolerend materiaal

i = aansluitlippen van het bandfilter

j = aluminium bus voor afscherming.

Fig. 21

van elkander verstemde kringen. Men noemt de kringen behorende bij kromme a onder-critisch gekoppeld; in het geval van kromme b critisch gekoppeld zodra de kromme twee toppen vertoont, spreekt men van overcritische koppeling. Zolang men deze koppeling niet te sterk maakt, heeft men het voordeel dat de top van de resonantie-kromme vrij vlak verloopt, terwijl bij een goede kwaliteit van de kringen de steilheid van de flanken groot kan zijn. Op deze wijze kan men de ideale rechthoekige vorm van fig. 17 benaderen, waardoor de frequentieband onverzwakt wordt doorgelaten. Men noemt twee gekoppelde kringen daarom een bandfilter.

Fig. 21 geeft een beeld van een practische uitvoering van een bandfilter. Twee spoeltjes "b" en "f" zijn op de spoelhouder "h" bevestigd. De koppeling tussen beide spoelen geschiedt door middel van wederzijdse inductie, geholpen door een staafje "d" van ijzerpoeder ("Ferroxcube"). Parallel aan de spoelen zijn vaste keramische condensatoren "e" en "c" geschakeld. De resonantiefrequentie van deze kringen is ca. 450 kHz. Met de inschroefbare "Ferroxcube" kernen "a" en "g" kan deze frequentie worden ingesteld. De verbindingen zijn door een geisoleerde bodem naar buiten gevoerd via hun aansluitcontacten "i". Het geheel is afgeschermd door middel van een aluminium bus "j".

SAMENVATTING

1. Voor het overbrengen van geluid over een grote afstand maakt men in de radiotechniek gebruik van electrische trillingen met hoge frequentie (draaggolf).

2. Moduleren is het enten van de L.F. trillingen op de H.F. trillingen. Men spreekt dan van een gemoduleerde trilling.

3. Als de *amplitude* van de H.F. trilling door de modulatie in het rhythme van de L.F. trilling wordt gevarieerd, spreekt men van amplitude-modulatie.

4. De modulatie-diepte van een gemoduleerde trilling is gelijk aan:

$$\text{modulatiediepte} = \frac{\text{amplitude L.F. trilling}}{\text{amplitude H.F. trilling}} \times 100\%.$$

5. Voor de radiogolven is de golflengte gelijk aan:

$$\text{golflengte} = \frac{300.000.000}{\text{frequentie in Herz}} \text{ meter.}$$

6. Voor de radio-omroep deelt men de golflengten in de volgende gebieden in:

lange golf	:	van 600 - 2000 m
midden golf	:	van 200 - 600 m
korte golf	:	van 10 - 200 m
ultra korte golf	:	kleiner dan 10 m

7. Een zender neemt als gevolg van de modulatie van de H.F. trilling een bepaalde frequentieband in beslag; de breedte hiervan wordt bepaald door de frequentie van de hoogste modulerende toon. De frequentieband bestaat uit twee zijbanden.

8. Een afstemkring wordt gevormd door de combinatie van een spoel en een condensator. Bij parallelschakeling spreekt men van een parallelkring, bij serieschakeling van een seriekring.

9. De frequentie van een trilling in een kring is afhankelijk van de grootte van de capaciteit en van de zelfinductie. De frequentie wordt groter naarmate de capaciteit en de zelfinductie kleiner zijn, en omgekeerd.

10. De resonantie-frequentie van een kring wordt bepaald door de formule:

$$f = \frac{1}{6,28\sqrt{LC}}$$

waarin f = frequentie in Herz,
L = zelfinductie in H,
C = capaciteit in F.

11. Zodra een keten uit een samenstelling van een spoel en een

condensator met weerstand bestaat, spreekt men van impedantie (aangegeven door de letter Z).

12. De impedantie van een parallelkring is het grootst in resonantie.

Zij is gelijk aan: $Z = \frac{L}{rC}$

waarin L = zelfinductie in H
r = totale verliesweerstand in de kring in Ω
C = capaciteit in F.

13. De impedantie van een seriekring is het kleinst bij resonantie. Zij is dan gelijk aan de verliesweerstand van de kring.

14. Men drukt de kwaliteit van een kring in de kwaliteitsfactor Q uit. Voor deze factor geldt de formule:

$$Q = \frac{6,28\ fL}{r}$$

waarin f = frequentie in Herz
L = zelfinductie in H
r = verliesweerstand in Ω

15. Het afstemmen van een kring, d.i. het in resonantie brengen van de kring, kan geschieden door middel van een variabele condensator of door middel van een spoel met variabele zelfinductie.

16. De eigenschap van een kring om stromen of spanningen met verschillende frequenties te selecteren noemt men de selectiviteit. Men drukt de selectiviteit van een afstemkring gewoonlijk uit in de frequentieafwijking t.o.v. de resonantie-frequentie, die nodig is om een verzwakking van 1/10 te verkrijgen.

17. Twee gekoppelde kringen noemt men een bandfilter. Zodra de resonantie-kromme van het bandfilter, tengevolge van de koppeling, twee toppen vertoont, noemt men de koppeling over-critisch.

VRAGEN EN VRAAGSTUKKEN

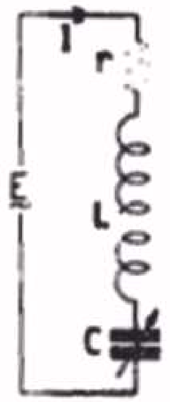
1. De golflengte van een zender is 50 m. Wat is de frequentie van de draaggolf?

2. De frequentie van de draaggolf van een zender is 5 MHz. Wat is de golflengte?

3. Een H.F. spanning heeft een amplitude van 10 V. Zij wordt gemoduleerd met een L.F. spanning (f = 1000 Hz), met een amplitude van 4 V. Hoe groot is de modulatiediepte? Hoe ziet de gemoduleerde H.F. trilling er dan uit?

4. Als bij dezelfde H.F. trilling de modulatiediepte 60% is, hoe groot is dan de amplitude van de modulerende L.F. trilling?

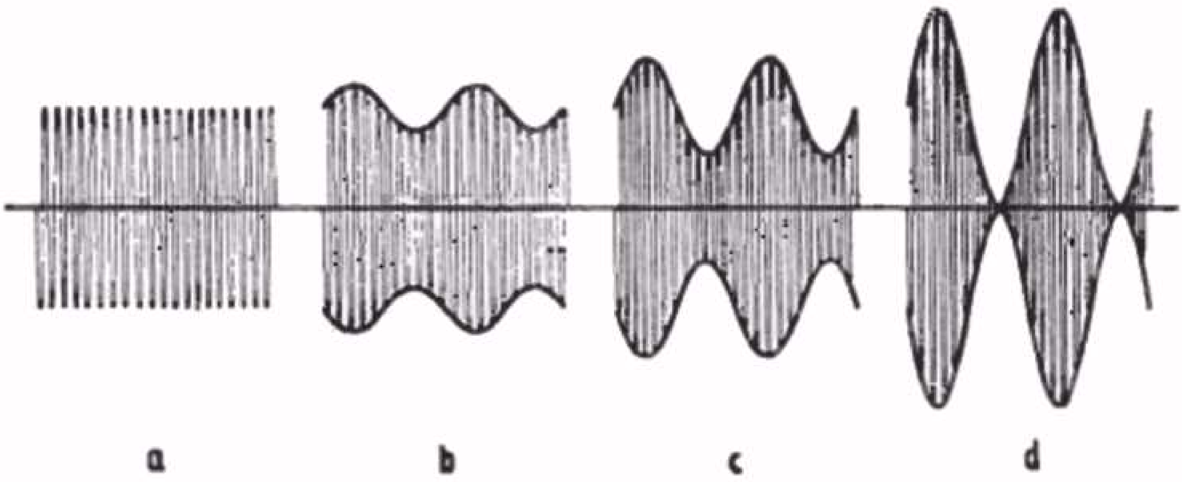
5. In nevenstaande schakeling is de kring in resonantie voor een frequentie van 1 MHz. De generatorspanning E bedraagt 0,1 V_{eff}. De weerstand r = 5 Ohm. Hoe groot is dan de wisselstroom I?



56. Detectie (demodulatie)

Zoals wij in de voorgaande les hebben geschreven, zouden wij in de eerste plaats rekening houden met zenders met amplitude-modulatie. Wij zullen ons bij de behandeling van detectie dan ook uitsluitend bezig houden met het gelijkrichten van amplitude-gemoduleerde signalen.

Bij amplitude-modulatie wordt de amplitude in het rhythme van de frequentie van de modulerende spanning gevarieerd. De grootte van variatie is afhankelijk van de grootte van de modulerende spanning.



a. Ongemoduleerde H.F.trilling.
b. Deze H.F.trilling voor 25% gemoduleerd.
c. Dezelfde H.F.trilling voor 50% gemoduleerd.
d. Dezelfde H.F.trilling voor 100% gemoduleerd.

Fig. 1

In fig. 1 hebben wij afgebeeld:

a) een ongemoduleerde H.F.trilling,
b) deze H.F.trilling voor 25% gemoduleerd,
c) dezelfde H.F.trilling, doch nu 50% gemoduleerd,
d) dezelfde H.F.trilling, doch 100% gemoduleerd.

Uit deze figuur is te zien, dat in "c" de grootte van de modulerende spanning tweemaal die in "b" is, terwijl in "d" deze spanning weer tweemaal die in "c" is. Zoals wij in de vorige les hebben gezien, wordt dit uitgedrukt door de modulatie-diepte, die de verhouding geeft van de amplitude van de modulerende spanning tot die van de ongemoduleerde H.F.spanning.

Wij zullen in de loop van de les zien, dat bij ontvangst van bovengenoemde drie signalen de L.F.wisselspanning aan de weergever (koptelefoon) ook steeds tweemaal zo groot wordt.

Voordat nu het geluid (modulatie) hoorbaar is, moet nog iets met het gemoduleerde H.F.signaal gebeuren. We moeten nl., zoals in les 10 reeds is gezegd, de L.F.modulatie als het ware losmaken van de H.F.draaggolf. Deze bewerking noemen we *demodulatie* of *detectie*, en we gebruiken daarvoor een *detector*.

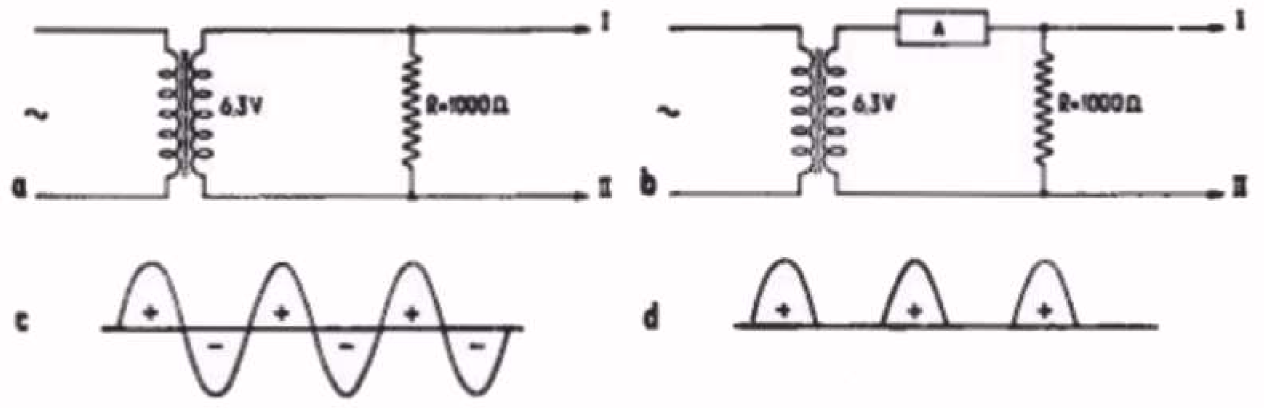
De detector in een radio-ontvanger is het meest essentiële onderdeel; zonder detector is het niet mogelijk de L.F.modulatie los te

maken van de H.F.draaggolf. In volgende lessen zullen wij zien dat in een moderne omroepontvanger ook nog H.F.-, middenfrequent- en L.F.versterkers voorkomen.

De H.F.- en middenfrequentversterker maken de ontvanger gevoelig voor zeer kleine signaalsterkten. De L.F.versterker stelt ons in staat een groot geluidsvolume te produceren. Wanneer aan deze eigenschappen echter geen eisen worden gesteld, kunnen we deze versterkingen desnoods stuk voor stuk weglaten. De detector moet echter steeds aanwezig zijn om radio-ontvangst mogelijk te maken.

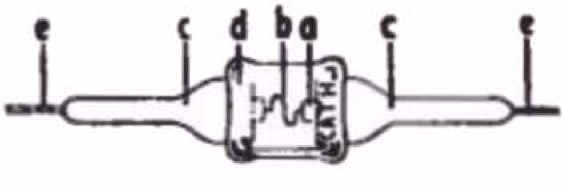
Hoe wordt nu detectie verkregen? Detectie kan worden verkregen door gebruik te maken van een gelijkrichter. Hier komt alweer een vraag naar voren en wel: Wat is een gelijkrichter? Een gelijkrichter is een element dat van een wisselstroom maar één helft van iedere periode doorlaat; de ander helft daarentegen tegenhoudt.

Dit effect kunnen we gemakkelijk als volgt zichtbaar maken (zie fig. 2). Wordt in de schakeling van fig. 2a aan de punten I en II een oscillograaf aangesloten (op de werking van dit instrument komen wij in een latere les terug), dan kunnen we een beeld volgens



a. Meetschakeling voor het aantonen van een wisselspanning. De klemmen I en II worden op een oscillograaf aangesloten.
b. Meetschakeling a met tussenvoeging van een gelijkrichtend element A.
c. Het beeld van de wisselspanning dat men in schakeling a op een kathodestraaloscillograaf ziet afgebeeld.
d. Het beeld van de gelijkgerichte spanning dat men in schakeling b op een kathodestraaloscillograaf ziet afgebeeld. Fig. 2

fig. 2c op het scherm van de oscillograaf waarnemen. Nemen we nu in de secundaire keten van de transformator een gelijkricht-element A op (fig. 2b), dan zal een beeld volgens fig. 2d op de oscillograaf verschijnen. Wij zien dan, dat de spanning over de weerstand R alleen maar uit de positieve helften van de oorspronkelijke wisselspanning bestaat. Er wordt nu slechts in één richting stroom doorgelaten, nl. de positieve richting; vandaar de naam gelijkrichter.



Afbeelding van een Germaniumdiode.
a = Schijfje Germanium.
b = Contactdraadje van wolfram.
c = Metalen houders.
d = Glazen buisje aan houders c gesmolten
e = Aansluitdraden.

Fig. 3

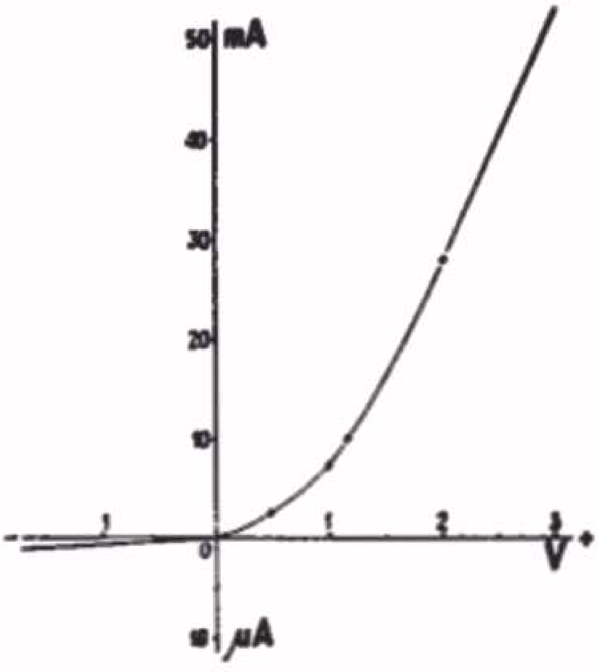
In de begintijd van de radiotechniek werd voor de detector gebruik gemaakt van de gelijkrichtende werking van bepaalde kristallen. Een dergelijke detector werd daarom kristaldetector genoemd. Deze was echter zeer instabiel en werd, na het verschijnen van de radiobuis, vrijwel niet meer gebruikt.

Schematische voorstelling van een Germaniumdiode.

Fig. 4

Tijdens de laatste wereldoorlog kwam weer een kristaldetector naar voren, met zeer goede en stabiele eigenschappen. Bij de fabricage hiervan wordt gebruik gemaakt van het element Germanium. Daar bij de radiobuizen een gelijkrichter wordt aangeduid met het woord diode, wordt deze kristaldetector, waarbij gebruik gemaakt is van het Germanium, vrijwel algemeen Germaniumdiode genoemd. Deze Germaniumdioden worden de laatste tijd steeds meer gebruikt in de radio- en meettechniek. Wij zullen in het volgende uitgaan van de Philips Germaniumdiode OA50 (een bekend type van Sylvania voor algemeen gebruik is de 1N34).

In fig. 4 is een Germaniumdiode schematisch weergegeven. De stroom wordt doorgelaten in de richting van de pijl, dus hier van links naar rechts. Het aansluitpunt waar de stroom de diode verlaat, wordt kathode genoemd. Op het glazen buisje van de Germaniumdiode is de kathode aangegeven door een wit vlakje met het opschrift "CATH" (zie fig. 3).



Karakteristiek van een Germaniumdiode OA50. In positieve richting is de stroomschaal uitgedrukt in mA, in negatieve richting daarentegen in µA.

Fig. 5

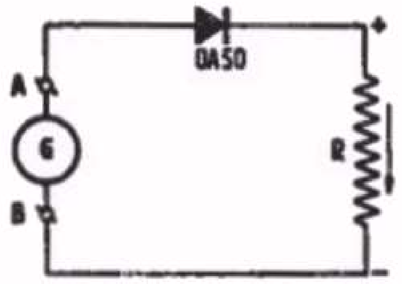
De gelijkrichtende eigenschap kunnen we in een grafiek uitbeelden (fig. 5). Deze grafiek wordt wel de gelijkrichtkarakteristiek genoemd, omdat hiermee als het ware het karakter van de gelijkrichter wordt weergegeven.

Voor de positief gerichte spanning laat de diode OA50 een grote stroom door, voor de negatief gerichte spanning daarentegen bijna geen stroom. De stroom in negatieve richting is echter zó klein, dat we deze in het vervolg zullen verwaarlozen.

We willen nu eens zien wat we krijgen, als wij de vier spanningen van fig. 1 aan een Germaniumdiode aanleggen. Hiertoe gaan wij uit van de schakeling van fig. 6. Via de weerstand R wordt de H.F. spanning, waarvan de frequentie b.v. 1,5 MHz is, al of niet gemoduleerd, aan de Germaniumdiode toegevoerd. Wanneer de klem A van de generator G positief is, laat de diode OA50 de stroom door en vloeit door R een stroom in de richting van de pijl. Is echter de klem B

positief (dus A negatief), dan kan er geen stroom vloeien, aangezien de OA50 nu functionneert als een practisch volkomen isolator. Door de weerstand R gaan dus stroomstootjes, zoals fig. 2d voorstelt.

Hoe groot deze stroomstootjes door R zullen zijn, kunnen we in fig. 7 zien. Wij tekenen daartoe symmetrisch onder de karakteristiek van de OA50, de wisselspanning van de generator G. De positief gerichte halve perioden worden doorgelaten en de grootte van de hierdoor ontstane stroom kan uit de karakteristiek worden bepaald. Uit de wet van Ohm volgt dat de waarde van deze stroom door R tevens een maat is voor de spanning over R.



Eenvoudige gelijkrichtschakeling met een Germaniumdiode OA50.

G = H.F.generator, die een ongemoduleerde of een gemoduleerde H.F.spanning kan leveren.

Fig. 6

Uit fig. 7 kunnen we nu het volgende zien:

fig. 7a: na gelijkrichting van een ongemoduleerd H.F.signaal ontstaat als het ware een gelijkstroom, bestaande uit zeer vele stroomstootjes. In dit geval 1.500.000 per seconde. Deze voorstelling is niet helemaal juist, maar voor ons doel wordt de waarheid voldoende benaderd. Later zullen wij nog hierop terugkomen.

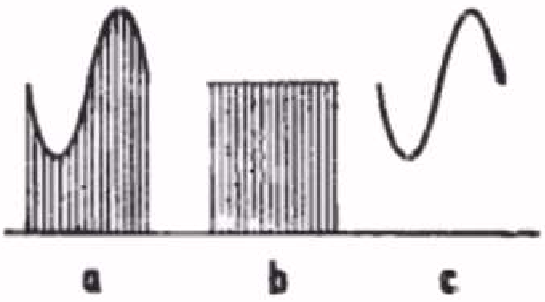
fig. 7b: na gelijkrichting van een gemoduleerd H.F.signaal ontstaan
-c weer gelijkstroomstootjes, waarvan nu echter de amplitude
-d varieert in het rhythme van de modulatie.

Bepalen wij nog eens onze aandacht tot fig. 7c. De hierin ontstane gelijkgerichte stroom is nog eens in fig. 8a afgebeeld. Deze stroom-vorm kunnen we ons nu opgebouwd denken uit een gelijkstroom (fig. 8b) en een wisselstroom (fig. 8c), waarvan de nullijn overeenkomt met de amplitudewaarde van de gelijkstroomstootjes van fig. 8b.

Uit fig. 7b-c-d is verder het volgende te zien. Bij een bepaalde draaggolfsterkte is, na gelijkrichting, de amplitude van de L.F. wisselstroom (fig. 8c) evenredig met de modulatiediepte. We kunnen ook zeggen, dat de amplitude van de L.F.wisselstroom gelijk is aan de amplitude van de H.F.draaggolf x de modulatiediepte in %. Een tweemaal zo sterke H.F.draaggolf, gemoduleerd met eenzelfde modulatiediepte, geeft dus na gelijkrichting een tweemaal zo grote L.F.wisselspanning. Dit is weergegeven in fig. 9.

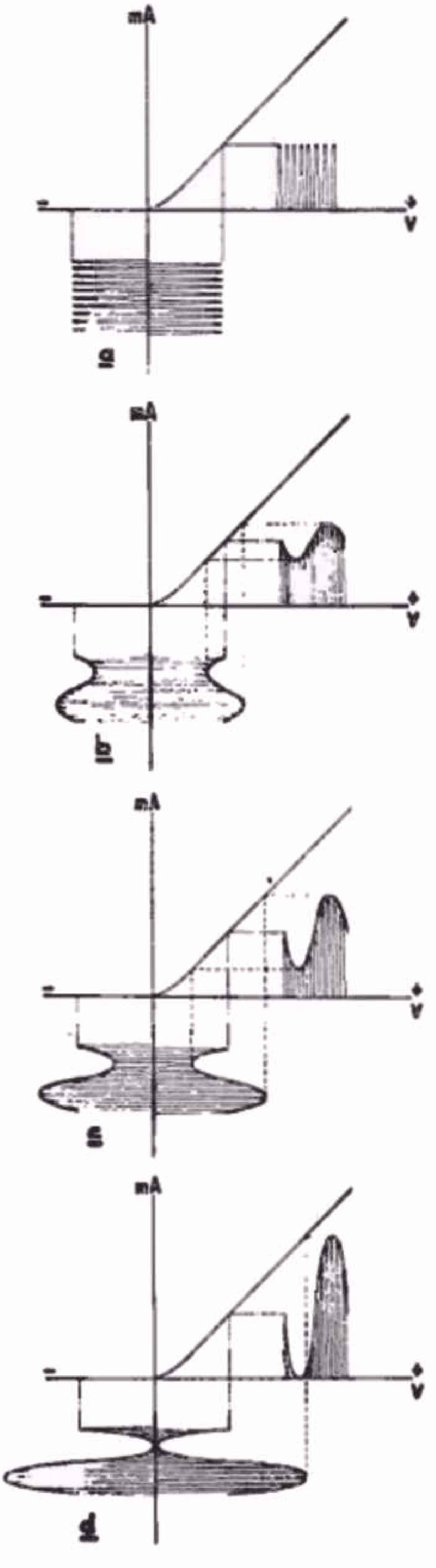
Ter illustratie enige voorbeelden:

1. De amplitude van de draaggolf is 2 V. De modulatiediepte bedraagt 50%. De amplitude van de L.F. spanning is dan $\frac{50}{100} \times 2 = 1$ V.
2. De amplitude van de draaggolf is nu 4 V. De modulatiediepte is weer 50%. Thans is de amplitude van de L.F.spanning 2 V.



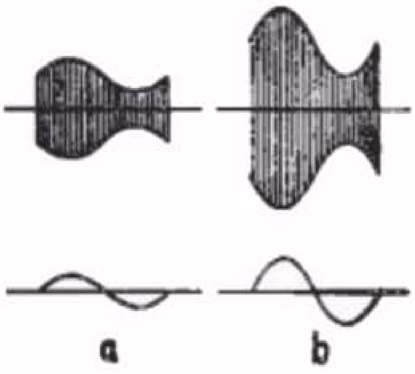
a. Gelijkgerichte H.F.draaggolf, 50% gemoduleerd.
b. Gelijkstroomcomponent.
c. L.F.component.

Fig. 8



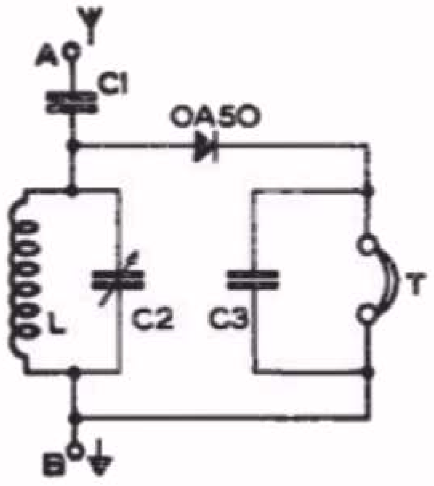
Grafische voorstelling van de gelijkrichting van een H.F.signaal.
a. Ongemoduleerd (frequentie 1,5 MHz)
b. 25% gemoduleerd
c. 50% gemoduleerd
d. 100% gemoduleerd

Fig. 7



Bij gelijke modulatiediepte is de L.F.component evenredig met de draaggolfsterkte.

Fig. 9



Principeschema van een zeer eenvoudige kristalontvanger (met capacitieve antennekoppeling).

Fig. 10

57. Enige eenvoudige ontvangers met een Germaniumdiode

We zullen nu eens zien, hoe we met een Germaniumdiode als detector een zeer eenvoudige radio-ontvanger kunnen maken. Fig. 10 geeft hiervan het principeschema. De onderdelen hiervan zijn:

C1 - antenne-koppelcondensator met een capaciteit van 50-100 pF.
C2 - afstemcondensator met maximum capaciteit van 500 pF.
C3 - telefooncondensator met een capaciteit van 1000-2000 pF.
L - afstemspoel. De waarde hiervan is afhankelijk van het frequentiegebied, dat we met de kring L-C2 willen afstemmen (zie hiervoor les 10).
T - koptelefoon met hoge weerstand.

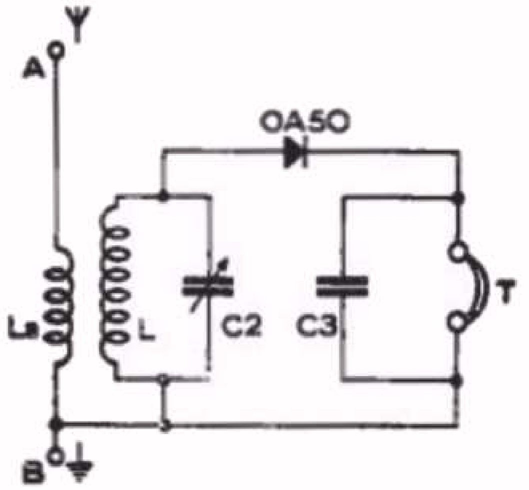
Het punt A wordt met een antenne verbonden, het punt B met een aardleiding. Vergelijken we nu fig. 10 en fig. 6 met elkander, dan zien we grote overeenkomst:

a. de afstemkring L-C2 is te vergelijken met de H.F. generator G van fig. 6. Als deze kring op een bepaalde zender is afgestemd, ontstaat hierover een gemoduleerde H.F. spanning met een frequentie van de draaggolf, waarop is afgestemd.
b. De detector (gelijkrichter) OA50 is gelijk en op dezelfde manier geschakeld.
c. De koptelefoon T is te vergelijken met de weerstand R van fig. 6.

Wordt de zender, waarop L-C2 is afgestemd, niet gemoduleerd, dan gaat door de telefoon alleen een gelijkstroom (fig. 7a en fig. 8b). Deze gelijkstroom is niet hoorbaar in de telefoon; de trilplaat reageert alleen op een L.F. stroomverandering (zie les 9). Zodra echter de zender een gemoduleerde draaggolf uitzendt, wordt de telefoon door een L.F. wisselstroom doorlopen (fig. 7b-c-d- en fig. 8c). Deze L.F. wisselstroom vloeit door de spoeltjes van de telefoon. Onder invloed hiervan komt de trilplaat van de telefoon in trilling en horen we geluid.

Over de functie van de condensator C3 is tot nu toe nog niet gesproken. Hiertoe moeten we even teruggaan naar de beschrijving van fig. 7a. Daarbij hebben we gemakshalve even aangenomen dat de gelijkgerichte stroom een gelijkstroom is. Dit is niet helemaal waar: deze stroom bevat nl. een H.F. deel met dezelfde frequentie als de draaggolf. De telefoon gedraagt zich als een grote zelfinductie (vele windingen om ijzeren poolschoenen), en biedt dus aan dit H.F. deel van de stroom een grote weerstand (in les 7 hebben we immers geleerd, dat de wisselstroomweerstand van een spoel gelijk is aan 6,28 fL). Een condensator biedt echter des te minder weerstand aan de stroom naarmate de frequentie hoger is (zie les 8). Door nu C3 parallel aan de telefoonspoeltjes te schakelen, vindt het H.F. gedeelte van de gelijkgerichte stroom een gemakkelijke weg over deze condensator. De waarde van C3 wordt nu zo gekozen dat de weerstand voor de L.F. modulatie-frequenties groot is, zodat de L.F. stroompjes nagenoeg onverzwakt door de telefoonspoeltjes gaan.

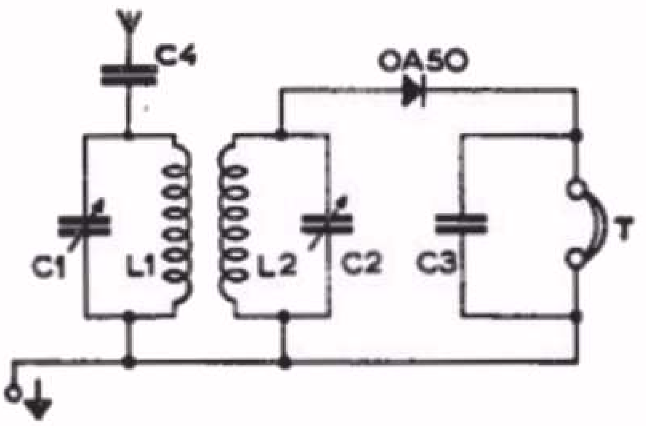
Bij de hier beschreven ontvanger wordt de H.F. spanning die in de antenne wordt opgewekt, via een condensator (C 1) aan de afstemkring L-C2 toegevoerd (wij noemen een dergelijke schakeling een capacitieve antenne-koppeling). Bij de moderne ontvangers wordt een dergelijke koppeling bijna niet meer toegepast. Hierbij wordt de antenne-spanning meestal langs inductieve weg op de afstemkring overgebracht. Fig. 11 geeft hiervan het schema. Wij spreken dan van inductieve antenne-koppeling. De afstemspoel L en de antenne-spoel La zijn hierbij op één spoellichaam gemonteerd Door de in de antenne aanwezige H.F. spanning vloeit door de antenne-koppelspoel La een H.F. stroom. Het hierdoor ontstane krachtlijnenveld snijdt de afstemspoel L, waardoor hierin een H.F. spanning geinduceerd wordt.



Principeschema van een zeer eenvoudige kristalontvanger met inductieve antennekoppeling.

Fig. 11

Door de selecterende werking van de afstemkring zal een zender, werkende op resonantie-frequentie van L-C2, de grootste spanning over de afstemkring doen ontstaan. Deze zender zal dus het sterkst worden ontvangen. (zie ook les 10). Hoewel deze ontvanger door de selectieve werking van de kring reeds een zekere voorkeur heeft voor de zender waarop de kring is afgestemd, is een storingsvrije ontvangst niet altijd verzekerd. De plaatselijke omstandigheden kunnen zodanig zijn dat verscheidene zenders een even grote spanning in de ontvangantenne opwekken. Is hun frequentieverschil niet zeer groot (bv. minder dan 50 à 100 kHz), dan zullen we een naburige zender (hoewel zwakker) door de gewenste zender heen horen. We zeggen dan dat de ontvanger onselectief is. De selectiviteit kan worden verbeterd door gebruik van twee kringen, die beide op dezelfde frequentie worden afgestemd. Hierdoor wordt tweemaal selectie toegepast en een zender buiten afstemming zal dus extra worden verzwakt. Fig. 12 geeft het principe schema van een dergelijke ontvanger weer. De beide afstemkringen L1-C1 en L2-C2 zijn aan elkander gelijk en worden beide op de frequentie van de te ontvangen zender afgestemd. Ook in deze schakeling kan weer capacitieve antennekoppeling worden toegepast.



Principeschema van een eenvoudige kristalontvanger met twee inductief gekoppelde afstemkringen (met capacitieve antennekoppeling).

Fig. 12

Voor een gegarandeerd storingsvrije ontvangst is de nu verkregen selectiviteit

nog onvoldoende. Bij de bespreking van moderne ontvangers zullen we zien dat voor een goede selectiviteit minstens vier afstemkringen nodig zijn.

Met de in fig. 10, 11 en 12 weergegeven ontvangers kunnen locale zenders goed worden ontvangen. Voor studiemateriaal loont het daarom zeker de moeite om zulk een ontvanger te maken. Men dient hierbij echter steeds *één* ding voor ogen te houden. De prestaties van een dergelijke ontvanger zijn gering. Alle energie die in de telefoon wordt omgezet in geluid, moet door de antenne worden geleverd. In de ontvanger zelf zijn immers geen energie leverende elementen aanwezig. Dit houdt in dat we voor ontvangst van zenders op enige afstand (30 - 60 km) een hoge en lange antenne nodig hebben. Verder is een goede aardverbinding van zeer groot belang.

58. Wisselstroommeters

In les 5 hebben we gezien op welke wijze we met een weekijzermeter gelijkspanningen en-stromen kunnen meten. Aangezien de werking van deze meter op het gelijknamig magnetiseren van twee ijzeren plaatjes die zich in een spoel bevinden, berust, kunnen met deze meter zonder meer wisselspanningen en stromen worden gemeten. Hoewel de weekijzer-stroommeter goed bruikbaar is voor het meten van de uit het lichtnet opgenomen stroom van een ontvanger of versterker, wordt zij voor de radioservice toch weinig gebruikt. Het is bij dit type instrument nl. niet eenvoudig om het geschikt te maken voor meer stroombereiken. Dit is wel het geval met de draaispoelmeter, die eveneens in les 5 is behandeld. Hierbij kan op een eenvoudige wijze, met behulp van parallelweerstanden (shunts), de meter voor verschillende stroombereiken geschikt worden gemaakt.

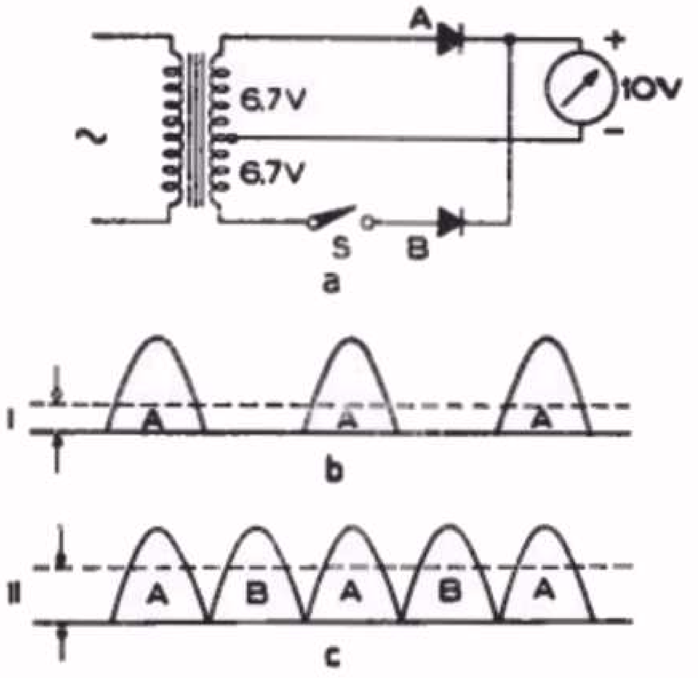
Als wisselspanningsmeter heeft de weekijzermeter de volgende bezwaren:

a. voor volledige uitslag van de meter is een betrekkelijk grote stroom nodig (10 mA of meer), zodat de Voltmeter een lage Ohm/Volt waarde krijgt (zie les 5);

b. de aanwijzing van de meter is, ten gevolge van de zelfinductie van de meetspoel, sterk frequentie-afhankelijk. Bij frequenties hoger dan 200 à 400 Hz wordt de meter ongevoeliger en wijst dan een lagere waarde aan. Deze miswijzing wordt groter naarmate de frequentie toeneemt. Voor metingen aan L.F. versterkers, waarbij we met frequenties van 30 Hz tot 10.000 Hz hebben te maken, is de weekijzermeter dan ook onbruikbaar.

Deze bezwaren kunnen we als volgt omzeilen. De te meten wisselspanning (of wisselstroom) wordt eerst omgezet in een gelijkspanning. Daarna wordt deze gelijkspanning met een draaispoelmeter gemeten. Voor de omzetting van de wisselspanning in een gelijkspanning kunnen we weer gebruik maken van de Germaniumdiode. Als we in fig. 6 de weerstand R vervangen door een draaispoelmeter met een meetbereik van bv. 10V, zullen we een uitslag van de meter waarnemen. De meter zal echter minder dan 6,3V (de spanning van de transformator) aanwijzen. Dit is als volgt in te zien. Aan de meter wordt alleen gedurende de positieve helft van iedere periode stroom toegevoerd. De draaispoelmeter wijst de gemiddelde waarde aan, die aanmerkelijk lager ligt dan de effectieve waarde van de te meten wissel-

spanning. Men zou hierin verbetering kunnen krijgen als ook de negatieve helft van iedere periode nuttig zou kunnen worden gebruikt. Dit kan men bereiken met de schakeling van fig. 13. Als de schakelaar S geopend is, is de stroom door de meter zoals in fig. 13b is weergegeven. Diode A doet nu alleen dienst. De aanwijzing van de meter is gelijk aan het niveau I. Wordt de schakelaar S gesloten, dan wordt diode B bijgeschakeld. Gedurende de tijd dat A een negatieve spanning krijgt toegevoerd, is de spanning aan B positief. B neemt dus de tot nu toe onwerkzame helft van iedere periode voor haar rekening en voert de resulterende gelijkspanning eveneens aan de meter toe. Fig. 13c geeft het beeld van de stroom als beide helften van de periode worden gelijkgericht. Het niveau II stelt nu de gemiddelde waarde voor en het blijkt, dat deze waarde twee maal zo groot is als die van het niveau I (in les 6 is verklaard, dat de gemiddelde waarde van een sinusvormige wisselstroom of spanning gelijk is aan 0,64 x de maximale waarde).



a. Schakeling ter demonstratie van enkelfazige (schakelaar S open) en dubbelfazige (schakelaar S gesloten) gelijkrichting.
b. Enkelfazige gelijkgerichte spanning. I geeft het niveau van de gemiddelde gelijkspanning.
c. Dubbelfazig gelijkgerichte spanning. II geeft het niveau van de gemiddelde gelijkspanning.

Fig. 13

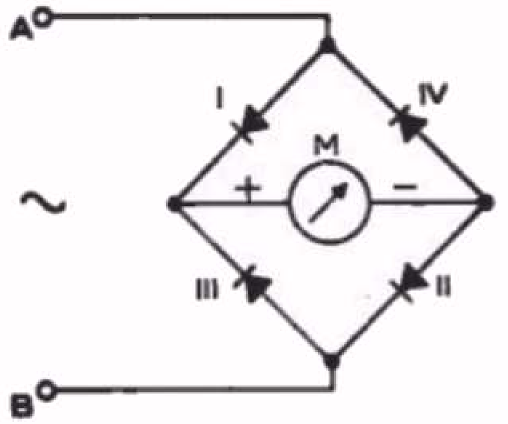
In fig. 13b wordt slechts één faze (de positieve) van een periode gebruikt. We spreken dan van *enkelfazige gelijkrichting*. In fig. 13c worden daarentegen beide fazen (positief en negatief) van de periode benut. In dat geval spreken we van *dubbelfazige gelijkrichting*.

We zien uit fig. 13 dat een dubbelfazige gelijkrichting meer effectief is. Ter verduidelijking een meetvoorbeeld. In de schakeling van fig. 13 met de vermelde spanningen van 2 x 6,7V en een draaispoelmeter met een bereik van 0 - 10V (1000 Ohm/Volt) gaf de meter met open schakelaar S een uitslag van 3V, met gesloten schakelaar een uitslag van 6V.

Hieruit blijkt, dat het bij het meten van wisselspanningen terdege zin heeft, om dubbelfazige gelijkrichting toe te passen.

Nu is de schakeling van fig. 13 voor het meten van wisselspanningen geen gelukkige oplossing. Deze schakeling vereist een dubbele meetspanning. Bovendien heeft men drie verbindingsdraden van de wisselspanning naar het meetinstrument nodig. Om dit te vermijden past men een andere schakeling toe, die bekend is onder de naam *Graetz-schakeling*. Hierin worden vier dioden gebruikt, waarbij op

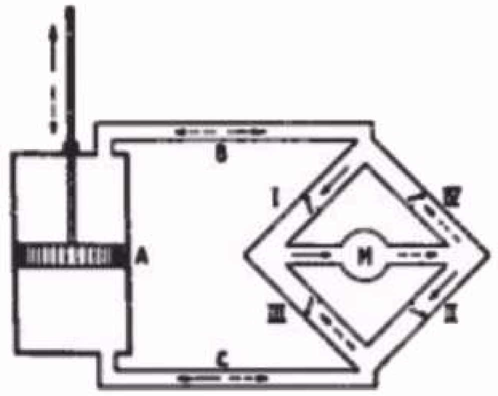
eenvoudige wijze dubbelfazige gelijkrichting wordt verkregen. Fig. 14 geeft deze schakeling weer. De te meten wisselspanning wordt aan de punten A en B toegevoerd. Als A positief is, is de stroomrichting A-I-M-II-B. Tijdens de halve periode dat B positief is, gaat de stroom in de richting B-III-M-IV-A. De stroom door de meter M krijgt dus weer het karakter van fig. 13c, dit is het karakter van dubbelfazige gelijkrichting. In dit geval heeft men echter slechts twee aansluitcontacten voor de wisselspanning.



Gelijkrichtschakeling van Graetz.

Fig. 14

Men kan de Graetz-schakeling aardig inzien met behulp van een watervoorbeeld. In fig. 15 is een buizenstelsel met een pompinstallatie, die dezelfde werking vertoont als de electrische Graetz-schakeling, getekend. De cilinder A en het daarmee verbonden buizenstelsel zijn geheel gevuld met water. I, II, III en IV zijn kleppen die het water slechts doorlaten in de erbij getekende pijlrichting. (Een dergelijke klep of ventiel is in wezen niets anders dan een gelijkrichter). Bewegen we de zuiger D in opwaartse richting, dan zal het water gaan bewegen zoals door de getrokken pijlen is aangegeven. Een neergaande beweging van de zuiger D veroorzaakt een beweging van het water zoals door de gestippelde pijlen is aangegeven. Wij zien nu dat:



Watervoorbeeld ter illustratie van de schakeling van Graetz.

Fig. 15

a. door de buizen B en C een wisselstroom vloeit;
b. door de kleppen I en II water gaat als de kleppen III en IV gesloten zijn en omgekeerd. De waterdoorgang door de kleppen is te vergelijken met een enkelfazige gelijkgerichte stroom;
c. door M vloeit een gelijkstroom;
d. de wisselstroom, opgewekt door de op- en neerwaartse bewegingen van D, vloeit dubbelfazig gelijkgericht door M.

Wij kunnen nu met de schakeling van fig. 14 op een zeer eenvoudige wijze een spannings- en stroommeter maken met verschillende meetbereiken. Voor de Voltmeter kunnen we bv. in serie met de klem A passende voorschakelweerstanden opnemen zoals in les 5, par. 24b, is beschreven. Voor gebruik als stroommeter kunnen we tussen de klemmen A en B passende shunt-weerstanden schakelen, zoals in les 5, par. 24a, is uiteengezet.

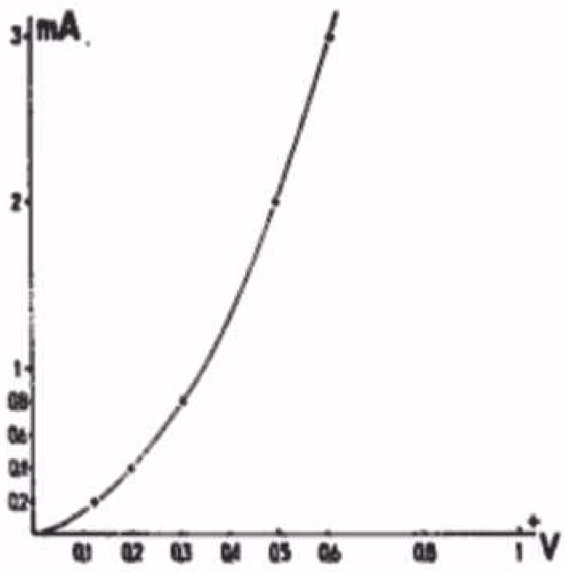
Bij gebruik van Germaniumdioden in de schakeling van fig. 14 blijkt de aanwijzing van het meetinstrument onafhankelijk van de frequentie te zijn. Bij dezelfde spanning tussen A en B is de meteraanwijzing constant voor een frequentiegebied van ca. 20 Hz tot ver boven 50.000 Hz.

Lineariteit van de schaal

Als we de schakeling van fig. 14 gaan gebruiken voor het maken van een Voltmeter voor lage spanningen (bv. voor 1 à 3 Volt voor volle schaaluitslag), dan zullen we helaas een onaangename ervaring opdoen. We zullen dan bemerken, dat de schaal niet lineair verloopt. Ze krijgt enigszins het karakter van een weekijzermeter (fig. 8, les 5). De oorzaak hiervan ligt in het feit, dat de karakteristiek van de Germaniumdiode in het begin niet recht is, maar enigszins gebogen. De weerstand van de diode is in dit gebied niet constant; zij verandert naarmate er een andere stroom doorloopt (dit verschijnsel vinden wij bij vrijwel iedere gelijkrichter terug). Wij zullen nu nagaan hoe groot deze weerstandsverandering is en welke gevolgen dit voor de meteraanwijzing heeft.

In fig. 16 is het begin van de karakteristiek van de Germaniumdiode OA50 op een grotere schaal getekend. Voor verschillende stromen bepalen we daaruit de overeenkomstige spanningen. Met behulp van de wet van Ohm kunnen we dan de daarbij behorende weerstand berekenen. Tevens berekenen we de toeneming van de weerstand in %. De resultaten zijn in onderstaande tabel verzameld.

Stroom (mA)	Spanning (Volt)	Weerstand (Ohm)	Toeneming v.d. weerstand in %
1	0,35	350	0
0,8	0,30	375	7,1
0,6	0,25	417	19
0,4	0,20	500	43
0,2	0,12	600	71
0,1	0,08	800	128



Het begingedeelte van de karakteristiek van de Germaniumdiode OA50. Voor de eenvoud wordt aangenomen dat de stroom in de negatieve richting nul is.

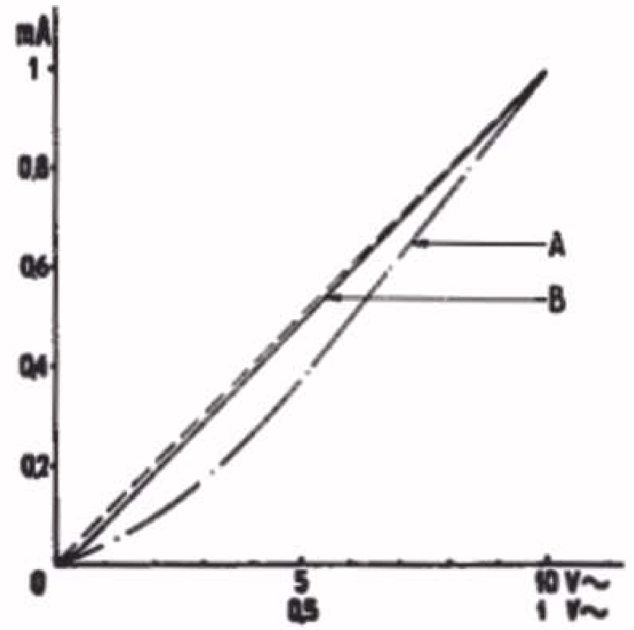
Fig. 16

In fig. 14 staan beurtelings de dioden I-II en III-IV met de meter in serie. Hierbij krijgen we dus de dubbele spanning en weerstand voor de twee dioden, maar de procentuële toeneming van de weerstand blijft dezelfde als bij 1 diode. Wij gaan eens na, hoe het totale weerstandsverloop wordt bij een Voltmeter, waarbij de volle schaaluitslag wordt bereikt bij 1, 3 resp. 10V. Wij gaan daartoe uit van een meter met een gevoeligheid van 1 mA voor volle uitslag.
Bij 1, 3 en 10V moet dus de totale weerstand 1000 Ohm, 3000 Ohm en 10000 Ohm zijn. De 2 dioden samen hebben bij 1 mA een weerstand van 700 Ohm. De weerstand van de meter M (Rm) plus de voorschakelweerstand Rv moet dus zijn 300 Ohm, 2300 Ohm resp. 9300 Ohm. *Deze weerstand (Rm + Rv) is bij verschillende stroomsterkten constant.*
Wij kunnen nu weer een tabel samenstellen, waarin de procentuële toeneming van de totale weerstand is aangegeven. Deze tabel is dan:

Diodestroom Id (mA)	Diodeweerstand Rd (Ohm)	Toeneming van Rd (%)	Meetbereik 0 - 1 V: Rd + Rm + Rv = Rt (Ohm)	Meetbereik 0 - 1 V: Toeneming van Rt (%)	Meetbereik 0 - 3 V: Rd + Rm + Rv = Rt (Ohm)	Meetbereik 0 - 3 V: Toeneming van Rt (%)	Meetbereik 0 - 10 V: Rd + Rm + Rv = Rt (Ohm)	Meetbereik 0 - 10 V: Toeneming van Rt (%)
1	700	0	1000	0	3000	0	10000	0
0,8	750	7,1	1050	5	3050	1,67	10050	0,5
0,6	834	19	1134	13,4	3134	4,5	10134	1,34
0,4	1000	43	1300	30	3300	10	10300	3
0,2	1200	71	1500	50	3500	16,7	10500	5
0,1	1600	128	1900	90	3900	30	10900	9

Het spreekt wel haast vanzelf dat bij meetbereiken groter dan 10 V (bv. 0 - 100 V en 0 - 300 V) de procentuële afwijkingen steeds kleiner zullen zijn. Uit bovenstaande tabel kunnen we nu gemakkelijk bepalen welke spanning aan de wisselstroom-Voltmeter moet worden toegevoerd om een bepaalde diodestroom te verkrijgen. De uitslag van de draaispoelmeter M is evenredig met deze diodestroom. Hieruit volgt, dat we ook kunnen bepalen hoe groot de uitslag van de draaispoelmeter M zal zijn bij een bepaalde wisselspanning die we willen meten. De resultaten van deze bepalingen zijn voor bovengenoemde drie bereiken in onderstaande tabel weergegeven:

Diode-stroom Id(mA)	Meetbereik 0 - 1 V: Wisselspanning (V)	Meetbereik 0 - 3 V: Wisselspanning (V)	Meetbereik 0 - 10 V: Wisselspanning (V)
1	1	3	10
0,8	0,84	2,44	8,04
0,6	0,68	1,88	6,08
0,4	0,52	1,32	4,12
0,2	0,30	0,70	2,10
0,1	0,19	0,39	1,09



Diodestroom afhankelijk van de wisselspanning voor de bereiken 0 - 1V en 0 - 10 V. De gestippelde lijn stelt een zuiver lineaire schaalverdeling voor. De lijn A behoort bij het 0 - 1 V bereik, de lijn B bij het 0 - 10 V bereik

Fig. 17

In fig. 17 zijn bovengenoemde gegevens voor de bereiken 0 - 1 en 0 - 10 V in een grafiek uitgezet.

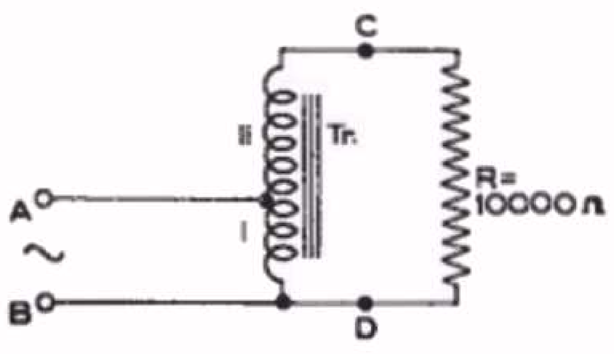
We zien hieruit duidelijk, dat de Voltmeter voor 0 - 10 V een vrijwel lineaire schaal zal hebben. De meter voor 0-1V zal daarentegen een schaal hebben die vrij sterk afwijkt van het lineaire verloop.

a. Schaalverdeling van de wisselspanningsmeter voor het bereik van 0 - 1 V.
b. Schaalverdeling van de wisselspanningsmeter voor het bereik van 0 - 10 V.
c. Zuiver lineaire schaalverdeling voor een bereik 0 - 10 V. Fig. 18

Fig. 18 geeft nu:
a. de schaal voor 0 - 1 V
b. de schaal voor 0 - 10 V
c. een zuiver lineaire schaal voor 0 - 10 V.
Voor het bereik van 0 - 3 V zal de schaalafwijking liggen tussen die van 0 - 1 V en 0 - 10 V.

We kunnen uit het bovenstaande de volgende conclusies trekken:
a. bij gebruik van een draaispoelmeter van 0 - 1 mA in de schakeling van fig. 14 zal de schaalverdeling voor meetbereiken van 0 - 10 V en hoger als lineair kunnen worden beschouwd;
b. voor meetbereiken lager dan 0 - 10 V kunnen we eveneens een lineaire schaal verkrijgen; we moeten dan echter het stroomverbruik van de meter M verhogen; voor 0 - 3 V bv. tot 3 mA (uit fig. 16 blijkt duidelijk, dat bij deze stroomwaarde de karakteristiek van de OA50 over een groot gedeelte vrijwel recht verloopt).

Als we voor de lage meetbereiken een hoger stroomverbruik van de meter (dus een lagere Ohm/V-waarde) accepteren, is er nog een andere methode om een lineaire schaal te verkrijgen. Deze methode verschaft ons tevens op een zeer eenvoudige wijze de mogelijkheid, om de meter voor verschillende wisselstroombereiken geschikt te maken. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een zgn. stroomtransformator.

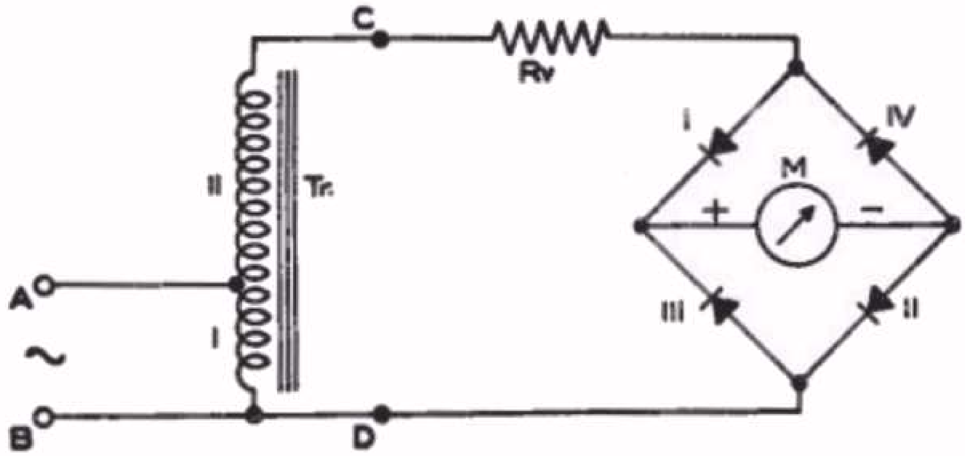


Principeschema van een stroomtransformator. De spanningen over de punten C-D en A-B staan in dezelfde verhouding als de windingsgetallen van I + II en I.

Fig. 19

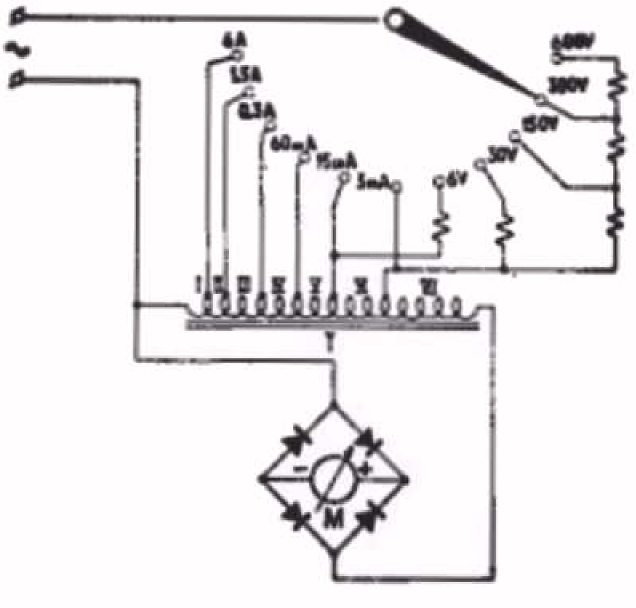
De principiële schakeling is in fig. 19 weergegeven. De transformator Tr is in dit geval

een autotransformator. x) Een transformator met gescheiden wikkelingen is echter eveneens bruikbaar.
De wikkeling II van de transformator Tr heeft bv. vier maal zoveel windingen als de wikkeling I. Wordt nu aan de punten A en B een wisselspanning van 2 V aangelegd, dan ontstaat tussen de punten C en D (dus over de weerstand R) een spanning van 10 V. Door R vloeit dus een stroom van 1 mA en door de wikkeling I zal dan een stroom van 5 mA lopen.



Wisselspanningsmeter met stroomtransformator.

Fig. 20



Schema van een wisselspannings- en stroommeter met stroomtransformator. De wikkelgegevens van de autotransformator T zijn:

I = 1 winding	V = 300 windingen
II = 3 windingen	VI = 1600 windingen
III = 16 windingen	VII = 4000 windingen
IV = 80 windingen	

Fig. 21

---

x) In les 7 hebben we gezien, dat bij een transformator met gescheiden wikkelingen een wisselstroom in de primaire wikkeling een spanning in de secundaire wikkeling induceert. Deze inductie kwam tot stand doordat beide wikkelingen door hetzelfde krachtlijnenveld werden omvat. Als men echter de wikkelingen niet gescheiden uitvoert, doch in elkanders verlengde legt, dan zal bij toevoeren van een spanning aan een der wikkelingen eveneens een spanning in de andere wikkeling worden geïnduceerd. Deze tweede wikkeling bevindt zich immers in hetzelfde magnetisch veld van de primaire wikkeling. Een dergelijke uitvoering van de transformator noemt men een autotransformator. De spanningsverhouding zal hierbij worden:

$$\frac{E_{CD}}{E_{AB}} = \frac{n_{(I + II)}}{n_I}$$

Bekijken we nu eens fig. 20. Hierin hebben we dezelfde situatie als in fig. 19, met dit verschil dat R is vervangen door een wisselstroomvoltmeter van 0 - 10 V - 1000 Ohm/V. Voor volle uitslag van de meter moet aan de punten A en B 2 V worden toegevoerd bij 5 mA. Op deze wijze hebben wij met behulp van de stroomtransformator Tr een meetbereik van 0 - 2 V met lineaire schaal verkregen.

Door een juiste keuze van de windingsgetallen van de wikkelingen I en II kunnen we nu ieder gewenst meetbereik (zowel voor spanning als voor stroom) maken met behoud van een lineaire schaalverdeling.

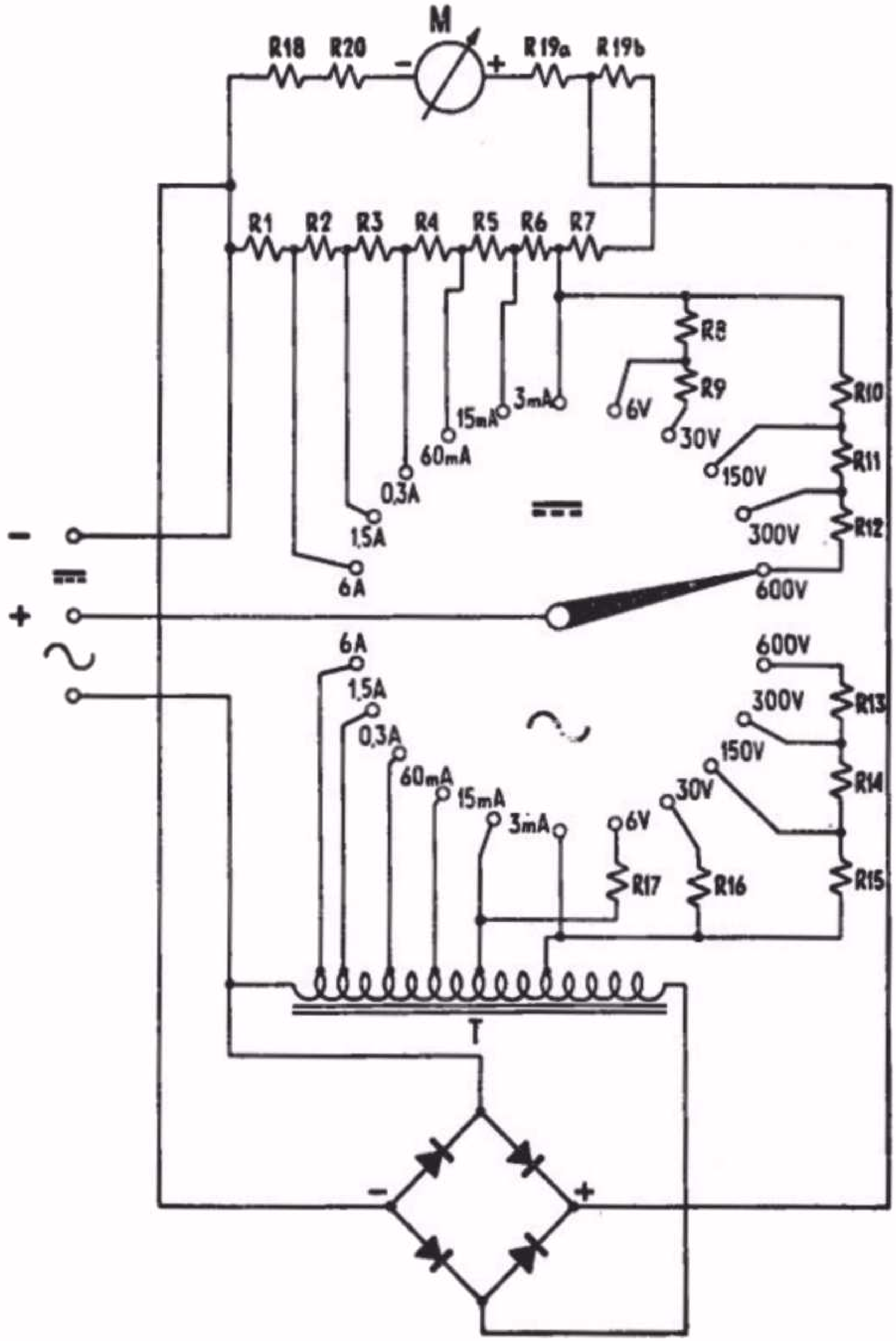
Voorbeeld als stroommeter

We kiezen de wikkelverhouding II : I is 999 : 1. Nu moet aan de klemmen A-B een spanning van 0,01 V bij 1 A worden toegevoerd om de meter volledig te doen uitslaan. Dit komt hierop neer, dat we een wisselstroomampèremeter met een bereik van 0 - 1 A hebben gekregen met een lineaire schaal.

Tot slot willen wij bekijken,op welke wijze een gecombineerde meter voor wisselspanning en wisselstroom kan worden gemaakt. Fig. 21 geeft hiervan het principeschema. Dit is een meter voor gebruik in de industrie. Voor gebruik in een radiowerkplaats is de Ohm/V waarde te laag; voor de bereiken 6 - 600 V is zij slechts 333 Ohm/V en voor het 3 V bereik 66,6 Ohm/V. Deze lage Ohm/V waarde (grote stroomsterkte nodig voor volle uitslag) is hier genomen om een absoluut lineaire schaal te verkrijgen. Wij zullen in een latere les, bij de bespreking van de meetapparaten voor de radio-service-werkplaats, een universeelmeter behandelen, waarvan de schaal lineair en de Ohm/V waarde toch hoog is.

In fig.21.worden de verschillende meetbereiken door middel van een omschakelaar zeer eenvoudig verkregen. Voor de stroommeting wordt de hierbij behorende aftakking op de transformator gekozen. Voor spanningsmeting wordt de juiste serieweerstand in serie met de stroomtransformator geschakeld.

We kunnen nu nog een stap verder gaan en de schakeling van fig. 25 in les 5 combineren met die van fig. 21. Wij krijgen dan een meter die geschikt is voor het meten van gelijk- en wisselspanningen en van gelijk- en wisselstromen. Dit noemen we een universeelmeter. Fig. 22 geeft hiervan het schema. De wisselstroomschakeling is gelijk aan die van fig. 21, met het verschil dat parallel aan de meter een shuntweerstand met aftakkingen is geschakeld. Door het gebruik van deze aftakweerstand heeft de overgangsweerstand van de schakelaar geen invloed op de uitslag van de meter (zie par. 24 van les 5). De aansluitklemmen gemerkt met ⎓ worden gebruikt bij gelijkstroommetingen. Bij wisselstroommetingen worden de klemmen ∼ gebruikt.



Het volledige principeschema van de universeelmeter type No. 10 376 05.

R1 =	0,05 Ohm	R8 =	1.915 Ohm	R15 =	49.410 Ohm
R2 =	0,15 Ohm	R9 =	8.000 Ohm	R16 =	9.300 Ohm
R3 =	0,80 Ohm	R10 =	50.000 Ohm	R17 =	ca. 300 Ohm
R4 =	4,0 Ohm	R11 =	50.000 Ohm	R18 =	205 Ohm
R5 =	15,0 Ohm	R12 =	100.000 Ohm	R19 = ca.	10+10 Ohm
R6 =	80 Ohm	R13 =	100.000 Ohm	R20 =	ca. 40 Ohm
R7 =	228 Ohm	R14 =	50.000 Ohm		

Fig. 22

SAMENVATTING

1. Het losmaken van de L.F.modulatie van de H.F.draaggolf in het ontvangtoestel noemt men demoduleren of detecteren.

2. De detectie berust op gelijkrichting van de wisselstroom.

3. Als detector kan men een Germanium-diode gebruiken. Hierbij maakt men gebruik van de gelijkrichtende werking van een kristalelement.

4. De eenvoudigste ontvanger is de z.g. kristalontvanger, waarin als detector een kristal of Germanium-diode wordt gebruikt.

5. Men kan met een weekijzermeter zonder meer wisselspanningen en -stromen meten. De weekijzermeter heeft echter het nadeel, van frequentie-afhankelijk te zijn. Naarmate de frequentie hoger is, zal de meteraanwijzing meer afwijken van de werkelijke waarde. Bovendien is het niet eenvoudig deze meter geschikt te maken voor meer stroombereiken.

6. Men kan een draaispoelmeter voor het meten van wisselspanningen en -stromen gebruiken, als men deze spanningen en -stromen eerst gelijkricht.

7. Als men van een wisselstroom slechts één helft van de periode doorlaat, spreekt men van enkelfazige gelijkrichting. Worden beide helften van een periode benut, dan heeft men dubbelfazige gelijkrichting.

8. Dubbelfazige gelijkrichting kan men ook verkrijgen met de Graetzschakeling.

9. Aangezien de stroom/spanningskarakteristiek van een gelijkrichter in het begin gebogen is, zal de schaalverdeling van het wisselstroom-meetinstrument met draaispoelmeter bij kleine spanningen en stromen niet lineair zijn.

10. Door gebruik te maken van een stroomtransformator kan men ervoor zorgen, dat de spanning op de meter + gelijkrichtelement zo hoog is (minimum ca. 10 V), dat een practisch lineaire schaal wordt verkregen.

VRAGEN EN VRAAGSTUKKEN

1. Een milli-ampèremeter van 0-1 mA moet geschikt gemaakt worden voor de meetbereiken van 0-10 mA en van 0-50 V. De meterweerstand is 5 Ohm. Welke shunt- en serieweerstanden moeten worden gebruikt? Hoe wordt, met gebruik van een schakelaar, het schema?

2. Teken het vereenvoudigde schema voor het meetbereik van 60 mA wisselstroom van de universeelmeter in fig. 24.

3. Voer hetzelfde uit voor het meetbereik van 150 V wisselspanning.

59. De radiobuis

A. Electronenemissie

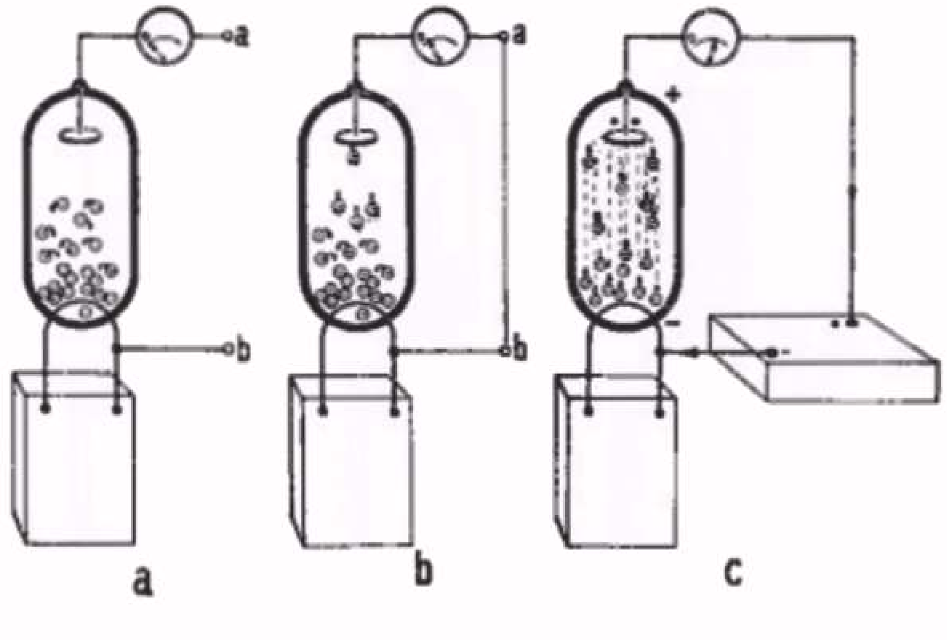
Voor het versterken en gelijkrichten van wisselspanningen maakt men in het ontvangtoestel gebruik van radiobuizen. Een radiobuis bestaat uit een glazen (soms metalen) ballon die practisch luchtledig (vacuum) is gepompt. In de ballon bevindt zich een electrodensysteem, dat in haar eenvoudigste vorm uit 2 electroden bestaat; de meeste systemen bevatten echter meer dan 2 electroden. Deze electroden worden geïsoleerd naar buiten gevoerd door middel van doorvoerdraden of pennen, waaraan diverse spanningen kunnen wordentoegevoerd.

Men heeft bij deze electroden steeds een kathode en een anode. De electrode die met de negatieve pool van de voedingsspanning wordt verbonden heet kathode; die welke met de positieve pool wordt verbonden noemt men anode.

Sluit men de anode en kathode van een 2-electrodenbuis (men noemt deze een diode) zonder meer op een spanningsbron aan, dan zal er geen stroom vloeien. Het luchtledige vormt nl. een zeer goede isolator. Men krijgt pas een electronenstroom als men de kathode verwarmt. Deze warmte verkrijgt men door een electrische stroom door een metalen draad te zenden. Zoals in les 1, paragraaf 7, is behandeld, wordt de energie (gelijk aan I^2R) die door een electrische stroom aan een weerstand wordt toegevoerd, omgezet in warmte.

Vergelijkend beeld van electronenemissie met verdamping van een vloeistof door verhitting.

Fig. 1



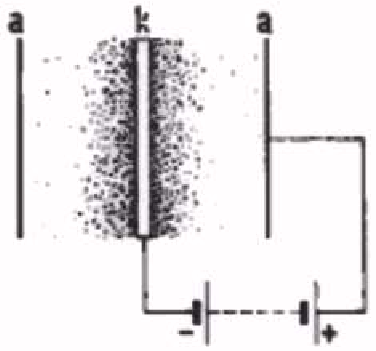
a. De gloeidraad emitteert electronen. Aangezien er geen geleidende verbinding tussen anode en kathode bestaat, zal de meter niet uitslaan.
b. Nu treedt een geringe electronenstroom naar de anode op, die door de verbinding naar de kathode gaat. De meter slaat iets uit.
c. De anode heeft een positief potentiaal ten opzichte van de kathode waardoor zich nu vele electronen naar de anode zullen bewegen. De meter slaat nu veel verder uit.

Fig. 2

De kathode bestaat in haar eenvoudigste uitvoering uit een draad van nikkel of wolfram. Als de draad tot een bepaalde temperatuur wordt verhit, wordt aan de rond de atoomkernen wentelende electronen zoveel energie toegevoerd, dat verscheidenenvan deze electronen kans zien zich aan de invloed van de positieve kern te onttrekken. Zij zullen dan de metaaloppervlakte van de draad verlaten. Zolang de anode geen spanning t.o.v. de kathode heeft, oefent de anode geen invloed uit op deze (negatief geladen) electronen. Toch zal men in fig. 2b waarin voor een stroomgeleidende verbinding tussen de anode en kathode is gezorgd, een stroompje door de

mA-meter waarnemen. Blijkbaar hebben een aantal electronen de kathodedraad (men noemt dit in de radiotechniek de <u>gloeidraad</u>) met zulk een snelheid verlaten, dat zij zelfs door het luchtledige heen de anode bereiken. Brengen we nu tussen de anode en de kathode een spanningsbron aan (fig. 2c), dan zullen we de meter veel verder zien uitslaan. Door de positieve spanning worden de negatief geladen electronen naar de anode getrokken en zij begeven zich door de anodeleiding via de mA-meter naar de spanningsbron terug. x)

Volgens het voorgaande zou men denken, dat de electronen rechtstreeks uit de gloeidraad naar de anode worden getrokken. Dit is echter niet het geval. Zodra nl. de eerste serie electronen de kathode verlaten, zullen deze electronen de electronen die daarna uit de kathode gaan, trachten terug te stoten. Alle electronen zijn immers negatief geladen en gelijknamige ladingen stoten elkander af. Men krijgt dus voor de electronen die de kathode willen verlaten enerzijds de krachtwerking in de richting van de anode, anderzijds de afstotende kracht van de zich voor hen bevindende electronen. Dit heeft tot gevolg dat er zich rond de kathode als het ware een wolk van electronen vormt die negatief geladen is. Men noemt dit de *ruimtelading* (fig. 3). Als nu de anode door het positieve potentiaal t.o.v. de kathode aan deze negatief geladen electronen gaat trekken, dan zullen in de eerste plaats de electronen die zich aan de buitenkant van de ruimtelading bevinden, naar de anode gaan. Zodra deze electronen naar de anode zijn vertrokken, kunnen de daarop volgende electronen hun plaats opvullen en zullen weer electronen uit de kathode de kans krijgen zich bij de ruimtelading te voegen. De electronenstroom in de buis wordt dus uit de ruimtelading om de kathode betrokken en niet direct uit de kathode zelf.



Er vormt zich bij emissie van de kathode een negatieve ruimtelading rond de kathode.

Fig. 3

B. <u>De Kathode</u>

Uit oogpunt van constructie maakt men onderscheid tussen direct en indirect verhitte kathoden.

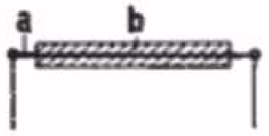
---

x) Zoals U hier ziet, loopt de electronenstroom van de kathode naar de anode, d.w.z. van min naar plus. In het voorgaande hebben we geleerd, dat de electrische stroom in feite een verplaatsing van electronen is, dus ook van min naar plus. In de begintijd van de electriciteit, toen men nog niet zulk een inzicht had in de theorie van de electrische stroom, had men aangenomen dat de electrische stroom van plus naar min liep. Deze stroomrichting is in bijna alle studieboeken aangehouden, zodat men wel zegt dat de richting van de electrische stroom tegengesteld is aan die van de electronenstroom. Om nu niet van de aanduiding van de stroomrichting in de meeste leerboeken af te wijken, zullen wij in het vervolg de richting van de "electrische stroom" aannemen, dus ook in de radiobuis van anode naar kathode.

In het eerste geval bestaat de kathode uit een metalen draad, waardoor een stroom -de gloeistroom- vloeit, onder invloed waarvan deze draad electronen emitteert. In het tweede geval bestaat de kathode uit een dun metalen buisje, waarin een gloeidraad geisoleerd is aangebracht. Het buisje wordt verhit door de gloeidraad. Nu emitteert niet de gloeidraad, doch het metalen buisje.

a. <u>Direct verhitte kathode</u>

Zoals reeds hiervoor gezegd is, bestaat een direct verhitte kathode uit een metalen draad -gloeidraad- waardoor een electrische stroom - de gloeistroom - loopt. Deze draad is van nikkel of wolfram en is bij de ontvangbuizen meestal uiterst dun; bij de moderne batterijbuizen is de diameter bv. 0,01 mm. Bij zendbuizen kan ze daarentegen een diameter van enige milli-meters hebben.

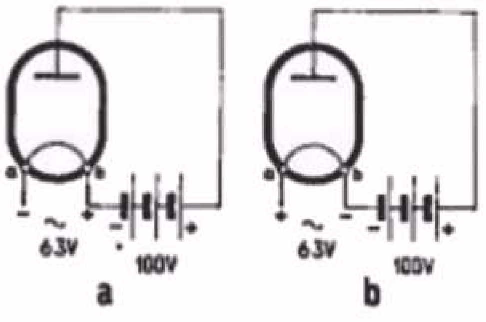


Een direct verhitte kathode
a = gloeidraad
b = oxydelaagje

Fig. 4

Het zal duidelijk zijn, dat men bij een bepaalde toevoer van warmte, dus bij een bepaalde gloeistroom, zoveel mogelijk electronen tracht vrij te maken, of in andere woorden, de emissie zo groot mogelijk te maken. Daarom voorziet men de gloeidraad van een laagje metaaloxyde; spreekt men dan ook van een oxydekathode (fig. 4). De oxydekathode levert een voldoende emissiestroom bij een temperatuur van ca. 700 - 800 °C. Deze temperatuur is zo gekozen dat de eigenschappen van de buis bij bepaalde variaties van de temperatuur, ten gevolge van spanningsschommelingen van de gloeistroombron, waardoor onder- of oververhitting wordt veroorzaakt, niet al te zeer veranderen.

Wegens het geringe gloeistroomvermogen wordt bij buizen, die door batterijen worden gevoed, bijna uitsluitend directe verhitting toegepast. Deze verhittingsmethode is daarentegen, in verband met brom, minder geschikt voor voeding met wisselstroom. Bij wisselstroomvoeding variëert de spanning over de gloeidraad (men noemt dit gloeispanning) met de frequentie van de stroom d.w.z. van het net. In fig. 5a en b zijn 2 situaties getekend van de gloeispanning.



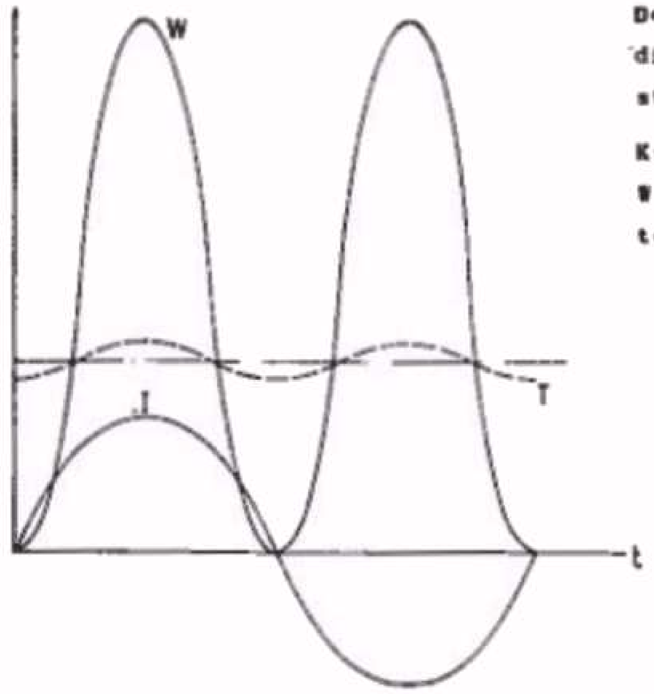
Bij wisselstroomvoeding van de gloeidraad variëert de spanning van de anode ten opzichte van de uiteinden van de gloeidraad.

a. De spanning van de anode ten opzichte van punt a van de gloeidraad is 6.3 + 100 V = 106,3 V.
b. De spanning van de anode ten opzichte van punt a van de gloeidraad is nu 100 — 6,3 = 93.7 V

Fig. 5

In fig. 5a is punt <u>a</u> 6,3 V negatief t.o.v. punt <u>b</u>, en zal de totale spanning van de anode t.o.v. punt <u>a</u> van de kathode 100+6,3V=106,3 V zijn.
In fig. 5b is punt <u>a</u> daarentegen 6,3 V positief t.o.v. punt <u>b</u> en nu zijn de spanningen van 6,3 V en 100 V tegen elkander in geschakeld (in oppositie - zie les 3, paragraaf 15), zodat de totale spanning tussen punt <u>a</u> van de gloeidraad en de anode 100 - 6,3 V = 93,7 V

wordt. Aangezien in fig. 5a de anode een hoger positief potentiaal t.o.v. punt <u>a</u> van de gloeidraad heeft dan in fig. 5b, zal de aantrekkingskracht van de anode op de electronen van de ruimtelading in het eerste geval groter zijn dan in het tweede geval, d.w.z. de electronenstroom naar de anode zal dan groter zijn. Op deze wijze varieert de electronenemissie in het rhythme van de frequentie van de gloeistroom, hetgeen als brom tot uiting komt.



De temperatuur, en dus ook de emissie, van een direct verhitte kathode, variëert bij wisselstroomvoeding.

Kromme I stelt de wisselstroom voor, kromme W de energie in de gloeidraad en kromme T de temperatuurvariatie van de gloeidraad.

Fig. 6

Bovendien zal de temperatuur van de gloeidraad, en dus ook de electronenemissie, variëren in afhankelijkheid met de frequentie van de wisselstroom (fig. 6). Ook dit hoort men in de luidspreker als een bromtoon.
Om deze redenen is men er toe overgegaan bij buizen voor netvoeding indirect verhitte kathoden te gebruiken.

b. <u>Indirect verhitte kathode</u>

Deze kathode bestaat uit een metalen buisje (meestal van nikkel) waarop het metaaloxydelaagje is aangebracht (fig. 7). In het buisje wordt de gloeidraad die bedekt is met een isolerende en hitte-bestendige laag, geschoven. Nu dient de gloeidraad uitsluitend als verhittingselement en het kathodebuisje is de emitterende electrode. Bij deze constructie is de spanning van de anode t.o.v. elk punt van de kathode constant, en zal dus ook de emissie van het gehele kathode-oppervlak constant en onafhankelijk van de frequentie van de gloeistroom zijn. Bovendien heeft een dergelijk buisje een grote warmtecapaciteit, (zij behoudt, door haar grotere oppervlakte, de warmte beter) zodat de temperatuur practisch niet wordt beinvloed door de met de frequentie variërende stroom door de gloeidraad. Op grond hiervan zijn practisch alle moderne buizen voor netvoeding van een indirect verhitte kathode voorzien.

De gloeidraad van een indirect verhitte kathode komt voor in een gespiraliseerde vorm (fig. 7) en in een gevouwen uitvoering (fig. 8).

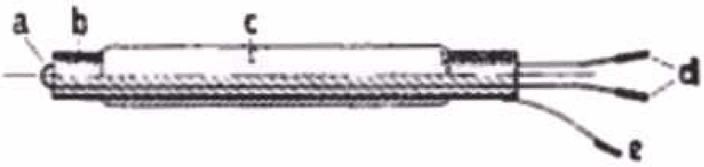
Samenstelling van een indirect verhitte kathode.

a = gespiraliseerde gloeidraad

b = kathode-buisje met oxydelaagje

c = kathode-buisje met gloeidraad.

Fig. 7



Indirect verhitte kathode met gevouwen gloeidraad.

a = gloeidraad met isolatielaagje

b = kathode-buisje

c = oxydelaagje

d = gloeidraad aansluitingen

e = kathode-aansluiting

Fig. 8

C. Voedingsbronnen voor de gloeidraad.

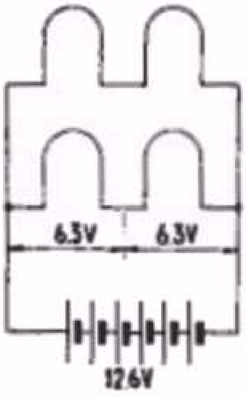
Zoals reeds hiervoor werd aangestipt, kan de voeding van de gloeidraad van de radiobuis op verschillende manieren geschieden. De constructie van de gloeidraad is sterk afhankelijk van de wijze van voeding. Men deelt de buizen daarom, naar hun voeding van de gloeidraad, in de volgende groepen in:

1. *Buizen voor batterijvoeding.*

Hierbij wordt de gloeidraad door een droge batterij gevoed. Aangezien de levensduur van de batterij afhangt van de stroom die zij moet leveren, zal men er bij deze buizen naar streven, de gloeistroom zo laag mogelijk te houden, desnoods ten koste van hun electrische eigenschappen. Bovendien speelt de factor ruimte, dus de afmetingen, ook dikwijls een rol (wij denken hier aan draagbare batterijtoestellen). De moderne batterijbuizen hebben daarom een gloeispanning van 1,2 V - 1,4 V, dit is de spanning van een enkele cel van een droge batterij. De gloeistroom van deze buizen is bij deze spanning 25, 50 of 100 mA.

2. *Buizen voor accuvoeding*

Ook hierbij geschiedt de voeding door een gelijkstroom. Men zou de kathode in dit geval eveneens direct kunnen verhitten. Nu is het grootste toepassingsgebied van deze buizen de autoradio, waarbij men gebruik maakt van de auto-accu, die een spanning heeft van 6,3 of 12,6 V(3resp. 6 loodcellen, zie les 3 par. 14). Verder moet men voor gebruik in autoradio rekening houden met de schokken, waaraan de buizen in dergelijke ontvangers zijn



Voorbeeld van een schakeling van 6,3 V gloeidraden op een 12,6 V accu. Fig. 9

blootgesteld.
De constructie moet dus zeer robuust zijn. Hiertoe leent zich de indirect verhitte kathodeconstructie het beste. In verband met de 6,3 V spanning van de accu, heeft men de gloeispanning van deze buizen op 6,3 V gesteld, waarbij bij de meeste typen een stroom vloeit van 200 mA. Bij gebruik van een 12,6 V accu, schakelt men dan de buizen 2 aan 2 in serie, zoals in fig. 9 is aangegeven.

3. *Buizen voor wisselstroomvoeding*
Zoals reeds uit het voorgaande bleek, moeten deze buizen in elk geval van een indirect verhitte kathode worden voorzien. De typen van de laatste 15 jaren hebben een gloeispanning van 6,3 V. Aangezien deze buizen in ontvangtoestellen worden gebruikt die op het wisselstroomnet worden aangesloten, waarvan de spanning tussen 110 V en 245 V ligt, maakt men gebruik van een transformator waarmede via een geschikte wikkelingsverhouding de spanning van 6,3 V wordt verkregen. (zie ook fig. 24 in les 7) Alle gloeidraden worden dan, parallel geschakeld, aangesloten op de secundaire wikkeling van de transformator. De gloeispanning moet dus gelijk zijn. De gloeistroom hangt af van de electronenstroom die voor hun functie in het toestel nodig is.

4. *Buizen voor gelijkstroom/wisselstroomvoeding*
Men heeft behalve wisselstroomnetten ook lichtnetten die gelijkspanning leveren, waarvan de spanning ligt tussen 110 en 240 V. Aangezien men een gelijkspanning niet door middel van een transformator omlaag kan transformeren, is men genoodzaakt de gloeidraden rechtstreeks uit het net te voeden. Om deze reden worden voor gelijkstroomnetten speciale, indirect verhitte buizen gemaakt, waarvan de gloeidraden niet voor dezelfde spanning, doch voor dezelfde gloeistroom zijn bemeten. De gloeidraden worden nu n.l. in serie geschakeld, en in zulk een geval worden de gloeidraden immers door dezelfde stroom doorlopen. Bij deze buizen kan dus de gloeispanning verschillend zijn. Men heeft deze buistypen voor een gloeistroom van 100, 200 en 300 mA gemaakt (de Amerikaanse buistypen voor serievoeding hebben een gloeistroom van 150 of 300 mA). In deze serieschakeling zijn deze buizen eveneens geschikt voor wisselstroomvoeding.

D. <u>Buistypen</u>

Zoals reeds in het begin van deze les is verteld, bezit de eenvoudigste buis twee electroden: een kathode en een anode. Ook als de kathode indirect verhit is, dus bestaat uit een gloeidraad met twee aansluitingen en een kathodebuisje, wordt zij als een enkele electrode beschouwd. Een twee-electrodenbuis noemt men een <u>diode.</u> De schematische voorstelling van een diode is in fig. 10 weergegeven.

Schematische voorstelling van een diode.

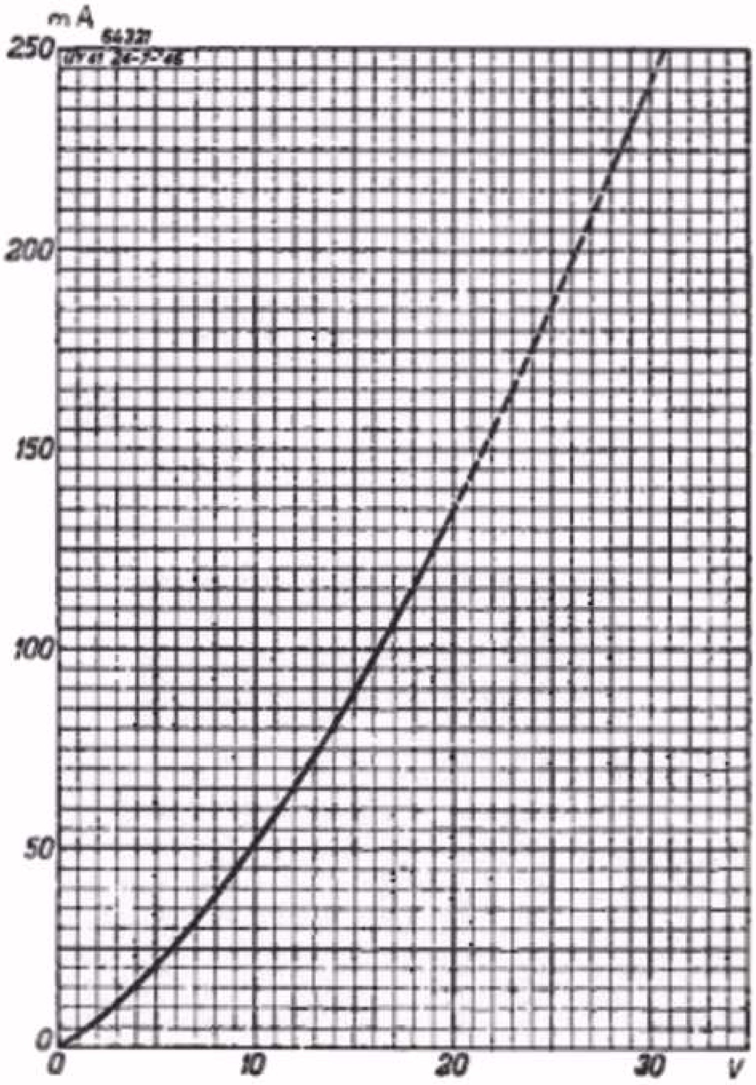
Fig. 10

De constructie en de electrische eigenschappen van de diode zijn afhankelijk van de functie die zij moet verrichten. Als detector, in de plaats van een Germaniumdiode, dient zij als gelijkrich-

ter van H.F.-spanningen, waarbij slechts zeer zwakke stroompjes vloeien. De kathode hoeft dan slechts een kleine stroom te leveren en de spanningen die daarbij optreden, zijn niet hoog.

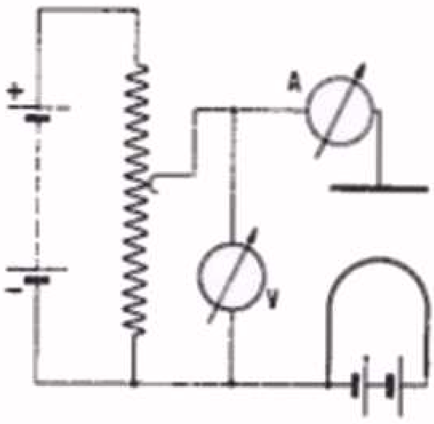
Verder wordt de diode gebruikt als netspanningsgelijkrichter. In dat geval is de gelijkgerichte stroom veel groter (in een ontvangtoestel in de grootte-orde van 70-100 mA) en zijn de daarbij optredende spanningen ook veel groter. Dit brengt een veel zwaardere kathodeconstructie met zich. Voor deze toepassing worden zowel buizen met direct verhitte als met indirect verhitte kathoden gemaakt.

Men kan nu, evenals dit bij de Germaniumdiode is uitgevoerd (les 11), bekijken wat de waarde van de stroom is bij verschillende spanningen over de diode, en dit in een karakteristiek vastleggen (zie fig. 11). Men krijgt dan ongeveer hetzelfde beeld als van fig. 16 in les 11. Zolang de anode positief is, loopt er een stroom van de kathode naar de anode; zodra de anode negatief is t.o.v. de kathode, vloeit er geen stroom. In het laatste geval ondervinden de negatief geladen electronen een afstotende kracht van de anode, zodat zij er niet in slagen op de anode terecht te komen. Men kan deze karakteristiek volgens de schakeling van fig. 12 opnemen. Als men deze proef wil nemen, verdient het aanbeveling hiervoor geen nieuwe buis te gebruiken, aangezien aan de kathode een te sterke emissiestroom wordt onttrokken als men de volledige karakteristiek wil opnemen.



Stroom-spanningskarakteristiek van een diode

Fig. 11

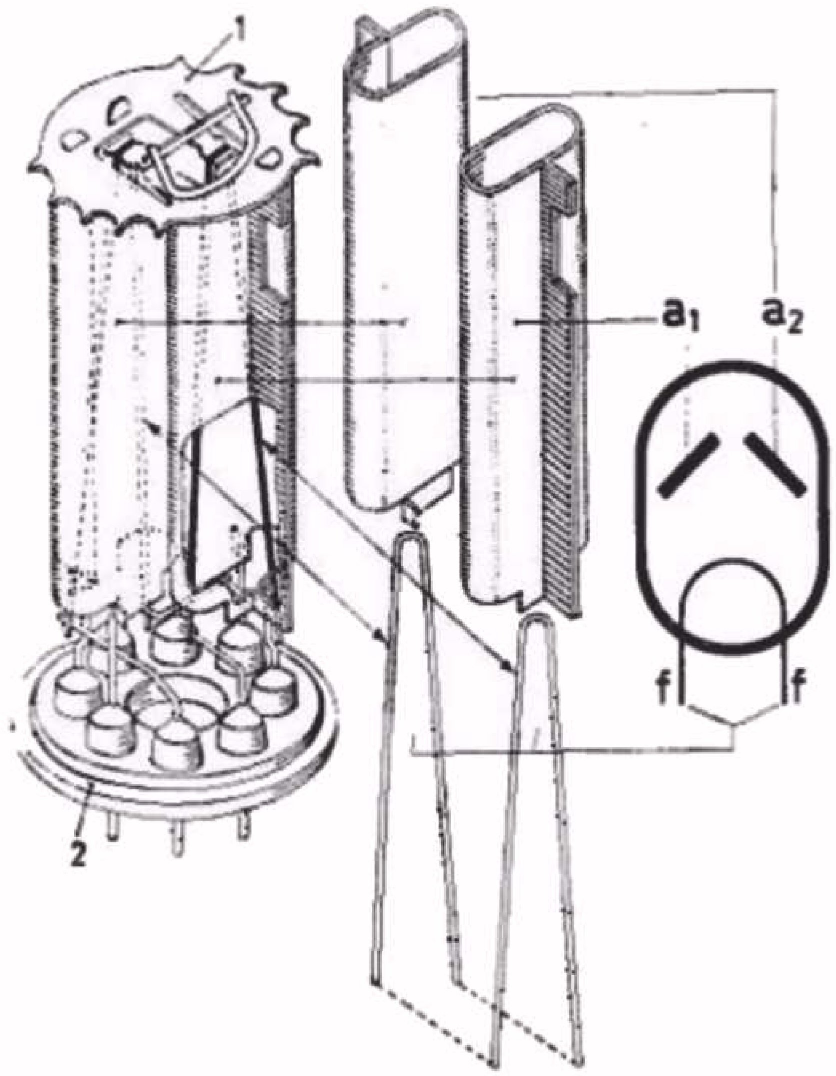


Principeschema voor de meting van de diodekarakteristiek.

Fig. 12

Men heeft ook buizen, waarbij men

twee dioden in één ballon heeft ondergebracht (fig. 13). Men spreekt dan van een dubbele diode of duodiode. Op het gebruik van de enkele en de dubbele diode komen wij in de volgende les nog terug.



Vereenvoudigde constructietekening van een dubbele diode (netspanningsgelijkrichter).

a1 = de ene anode

a2 = de tweede anode

f = de gloeidraden, die in de buis parallel geschakeld zijn.

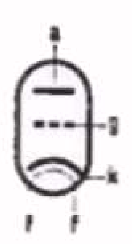
1 = Mica steunplaatje

2 = glazen boden met ingeperste pennen.

Fig. 13

Brengt men tussen de kathode en de anode een derde electrode aan, dan kan men door een spanning tussen deze electrode en de kathode aan te leggen, de ruimtelading en daarmee de electronenstroom, beinvloeden. Deze extra electrode wordt meestal in de vorm van een spiraaldraad uitgevoerd en rooster genoemd. (in fig. 16 zijn verschillende modellen van roosters afgebeeld). Deze roosters bevinden zich cylindrisch rondom de kathode en zijn op geschikte steunen bevestigd. Zij worden in het algemeen uit dun draad vervaardigd en spiraalvormig om 1 of meer steunstaafjes, de zgn. roosterbalkjes, gewikkeld. De electronen kunnen door de openingen tussen de roosterdraden (roostermazen) schieten.

In een buis met 1 rooster heeft dit doorgaans de functie van sturende electrode en wordt daarom ook *stuurrooster* genoemd.
Een dergelijke buis met drie electroden, nl. kathode, rooster en anode, wordt een triode genoemd. De schematische voorstelling van een triode vindt U in fig. 14 afgebeeld. Verscheidene buizen zijn voorzien van meer roosters (fig. 16 laat als voorbeeld de sámenstelling zien van een buis met drie roosters). Afhankelijk van het aantal electroden heeft men de radiobuizen de volgende namen gegeven:



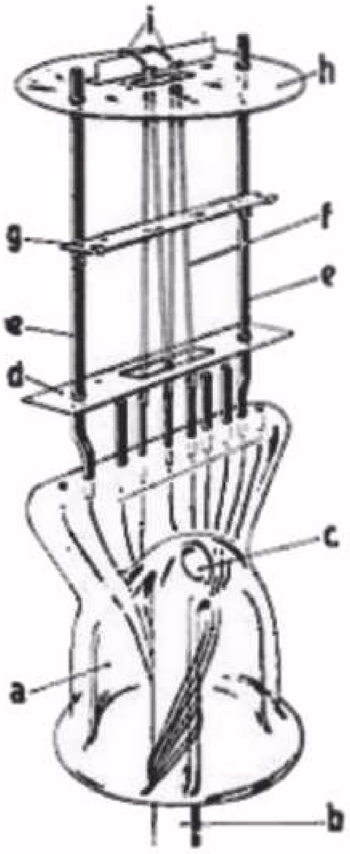
Schematische voorstelling van een triode.

Fig. 14

diode,	als de buis 2 electroden heeft
triode,	als de buis 3 electroden heeft (1 rooster)
tetrode,	als de buis 4 electroden heeft (2 roosters)
penthode,	als de buis 5 electroden heeft (3 roosters)
hexode,	als de buis 6 electroden heeft (4 roosters)
heptode,	als de buis 7 electroden heeft (5 roosters)
octode,	als de buis 8 electroden heeft (6 roosters)
enneode,	als de buis 9 electroden heeft (7 roosters)

Verder heeft men buizen, waarbij men meer dan één systeem in de ballon heeft ondergebracht, bv. twee diodes en een triode, die men een duo-diode-triode noemt; een triode met een hexode die de naam draagt van triode-hexode, enz.

Op de werking en de functie van deze buizen zullen wij in de volgende lessen uitvoeriger terugkomen.



Kneep met gemonteerde gloeidraad.

a = kneep

b = pompstengel

c = opening van pompstengel

d = onderste mica steunplaatje

e = steunstaafjes

f = met oxyde bedekte gloeidraad

g = mica steunplaatje voor de gloeidraad

h = bovenste mica steunplaatje

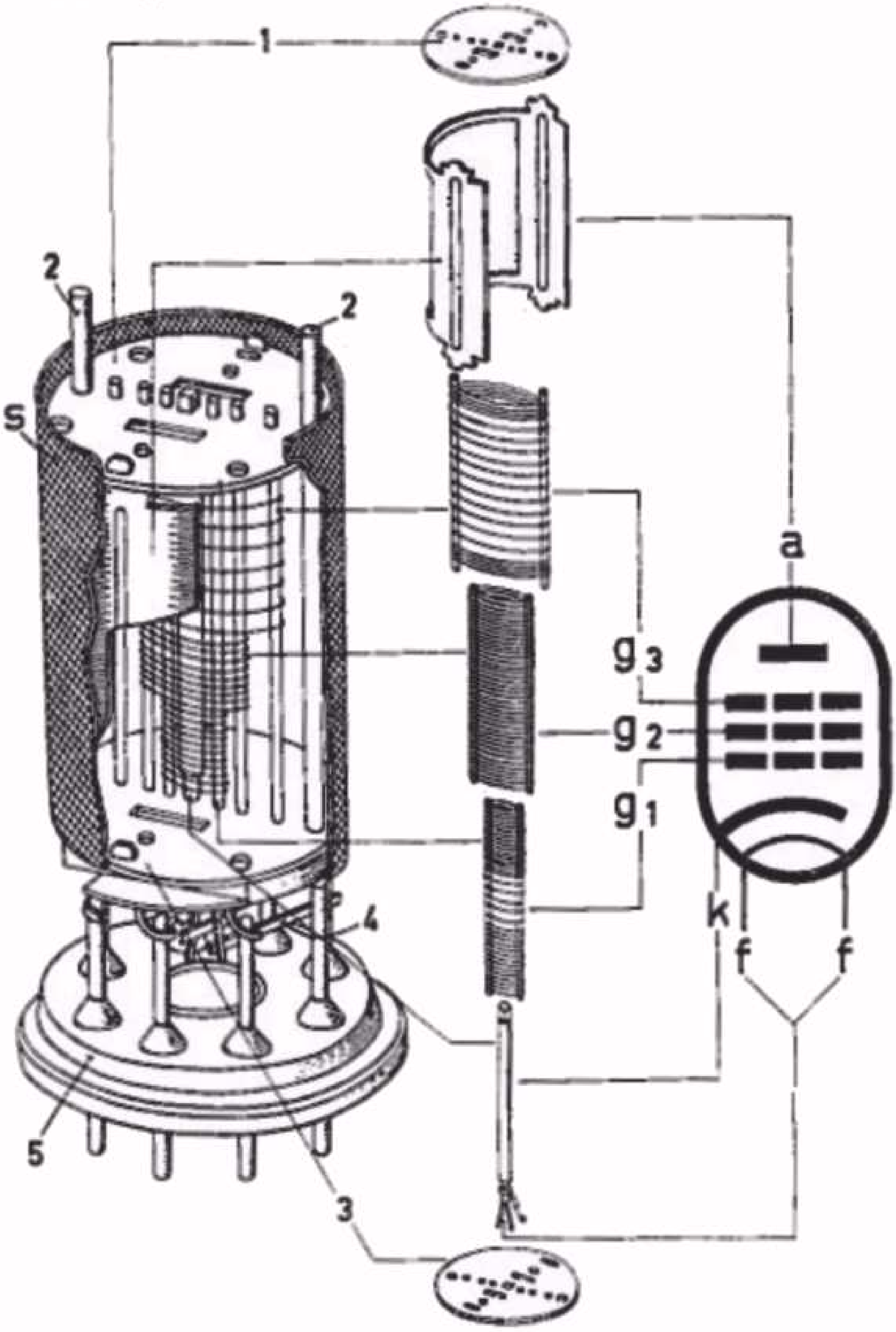
i = veren voor het spannen van de gloeidraad.

Fig. 15

E. Constructie

Zoals reeds in het begin is verteld, bestaat een radiobuis uit een electrodensysteem dat in een luchtledig gemaakte ballon is ondergebracht. Men heeft in de loop der jaren radiobuizen met verschillende uitvoeringen gemaakt. Wij willen hieronder alleen de belangrijkste constructies behandelen.

Bij de oorspronkelijke constructie (zie fig. 15) werd het electrodensysteem gedragen door twee verticale steunen, de zgn. steunbalkjes (e). Deze beide steunen vormen de ruggegraat van het systeem en zijn in de uit een glazen buis vervaardigde kneep (a) gesmolten. Het electrodensysteem wordt tussen twee horizontale steunplaatjes (d en h) opgesteld. Deze steunplaatjes zijn dikwijls, om tevens een afscherming te verkrijgen, uit metaal vervaardigd en hierin zijn kruisgewijze spleten gestanst die door mica of keramische plaatjes zijn bedekt. In de isolerende plaatjes zijn de roos-



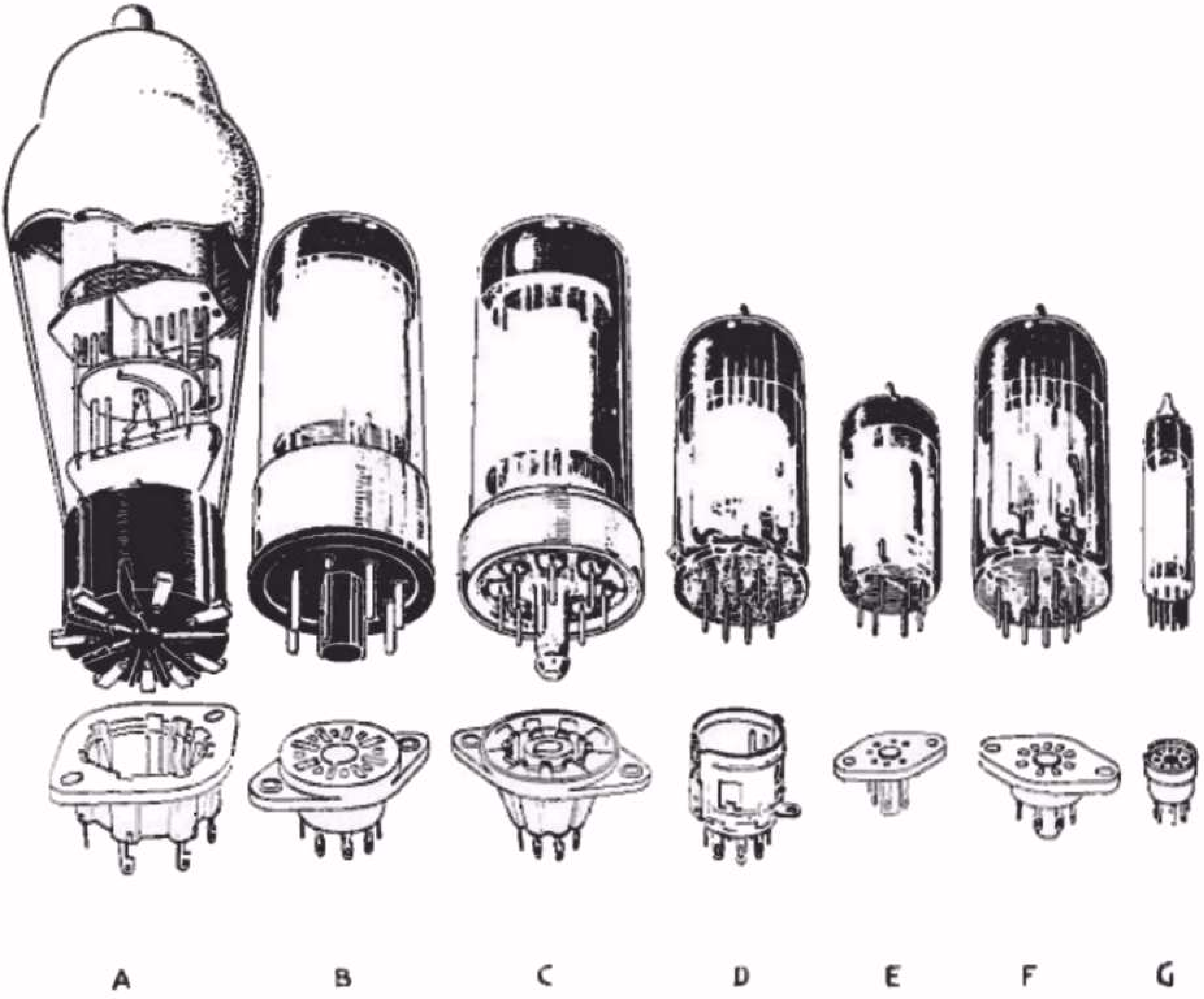
Vereenvoudigde constructietekening van een penthode.

a = anode
g3 = derde rooster
g2 = tweede rooster
g1 = eerste rooster (stuurrooster)
k = kathode
f = gloeidraad
s = afschermkooi.

Fig. 16

1 = bovenste mica steunplaatje
2 = steunstaven van het electrodensysteem
3 = onderste mica steunplaatje
4 = verbindingsstripjes van de electroden met de aansluitpennen
5 = glazen bodem met ingeperste pennen.

tersteunen en de kathode bevestigd, zodat ze alle onderling zijn geisoleerd. De anode bestaat uit een metalen cylinder, die meestal aan de beide verticale draagsteunen wordt bevestigd. In de kneep is nu het vereiste aantal doorvoerdraden aangebracht, waaraan de verschillende electroden van het buissysteem worden gelast. De andere uiteinden van de doorvoerdraden worden gesoldeerd aan de pennen of de contacten in de huls. De kneep heeft aan de onderzijde een rand, die met de glazen ballon wordt samengesmolten. Aan de kneep is een glazen pompstengel (b) bevestigd, terwijl zich in de kneep op de plaats waar de pompstengel is aangesmolten, een gat (c) bevindt. Zodra de kneep met de ballon is samengesmolten kan nu de lucht door pompen door de stengel worden verwijderd. De doorvoerdraden van de kneep zijn in de pennen van de huls gesoldeerd; deze huls is aan de ballon gekit. In de laatste 15 jaren zijn de buizen met deze constructie voorzien van een huls met zij-contacten (zie fig. 17 A) of een huls met 8 pennen (octalhuls). Bij deze laatste huls zijn de 8 pennen symmetrisch in een cirkel gerangschikt en bevindt zich in het midden een zgn. zoekstift, die van een ril is voorzien (fig. 17 B).



Verschillende uitvoeringen van de radiobuis met de daarbijbehorende buishouder.

A. Oude uitvoering met kneepconstructie en huls met zijcontacten.

B. Oude uitvoering met kneepconstructie en Octal-huls met zoekstift.

C. Sleutelbuis met zoekstift.

D. Rimlock-buis met zoeknok. 8

E. Miniatuurbuis met 7 pennen.

F. Noval-buis met 9 pennen.

G. Subminiatuur-buis (met aansluitpennetjes of met draden om direct in het chassis te worden gesoldeerd).

Fig. 17

Deze kneepconstructie heeft het nadeel, dat de toevoerdraden naar de electroden over een vrij grote afstand parallel aan elkander lopen en vrij lang zijn. Hierdoor ontstaan tussen de draden ongewenste capaciteiten en dientengevolge ongewenste koppelingen.

In verband hiermede is men van de kneepconstructie met huls afgestapt en is men er toe overgegaan, buizen te maken met een glazen bodem zonder huls. Het kenmerk van deze constructie is de afwezigheid van de kneep en van de huls. De bodem is een vlakke glazen plaat, met of zonder opstaande rand, waarin 8 doorvoerpennen aanwezig zijn, waarop het electrodensysteem wordt bevestigd. Deze pennen dienen tevens als aansluitcontacten van de buis. De eerste constructie waarbij dit systeem werd toegepast, was die van de sleu-

telbuizen (fig. 17 C). Op de 8 doorvoerpennen wordt het verticaal opgestelde electrodensysteem gelast, zodat het systeem uiterst stevig opgebouwd is. Omdat de pennen symmetrisch in een cirkel zijn gerangschikt, werd ook deze buis met een centrale zoeknok uitgerust. Deze zoeknok maakt deel uit van een metalen afschermplaat die onder aan de buis wordt gemonteerd.

Na de oorlog heeft men door een verbetering van de constructie en door gebruik van nieuwe materialen, de afmetingen kleiner kunnen maken. Op deze wijze zijn de Rimlockbuizen ontstaan (fig. 17 D) en de miniatuurbuizen (fig. 17 E). De Rimlockbuis heeft 8 symmetrisch opgestelde pennen; de "zoeking" geschiedt hierbij door middel van een nokje op de zijkant van de buis. Bij de miniatuurbuizen heeft men 7 pennen die volgens een achthoek geplaatst zijn, zodat men hierdoor een asymmetrische opstelling van de pennen heeft verkregen. Verder maakt men buistypen van dezelfde constructie, maar met negen pennen (zgn. Novalbuizen). De pennen zijn volgens een regelmatige tienhoek gerangschikt, zodat door het ontbreken van de tiende pen een asymmetrische pennenstand is ontstaan (fig. 17 F).

De nieuwste ontwikkeling is de subminiatuurbuis, waarvan de afmetingen weer aanzienlijk kleiner zijn dan die van de Rimlock- en miniatuurbuis. Deze buistypen vinden o.a. toepassing in de gehoorapparaten. (fig. 17 G).

De aansluiting van de buis in het ontvangtoestel geschiedt door middel van een buishouder. In de figuren van de verschillende buisconstructies zijn tevens de bijbehorende buishouders getekend.

F. Typenummering

De Europese type-aanduiding werkt als volgt: Het typenummer bestaat uit twee of meer letters en één of twee cijfers. Deze letters en cijfers hebben de volgende betekenis:

Eerste letter (deze letter duidt de gloeidraadvoeding aan):
A – 4 Volt wisselstroomvoeding
C – 200 mA gloeistroom (gelijk- en wisselstroomvoeding)
D – batterijvoeding, met een gloeispanning van 1,2 - 1,4 V
E – 6,3 V wisselstroom- en accuvoeding
K – 2 V batterijvoeding
P – 300 mA gloeistroom (gelijk- en wisselstroomvoeding)
U – 100 mA gloeistroom (gelijk- en wisselstroomvoeding)

Tweede en eventueel volgende letters (zij duiden het systeem en eventueel de functie van de buis aan). Deze letters hebben de volgende betekenis:

A – enkele diode	K – octode
B – dubbele diode	L – penthode (eindbuis)
C – triode	M – afstemindicator
D – triode (eindbuis)	Q – enneode
E – tetrode	X – gasgevulde dubbelfazige gelijk-
F – penthode	Y – enkelfazige gelijkrichter(richter
H – hexode of heptode	Z – dubbelfazige gelijkrichter

Cijfers

De daaropvolgende cijfers zijn in groepen ingedeeld. Deze groepen hebben betrekking op de uitvoering van de buis. Per groep heeft het cijfer de betekenis van een rangnummer. De belangrijkste groepen zijn:

0 - 10	buizen met kneepconstructie met zij-contactenhuls
20 - 30	sleutelbuizen
30 - 40	buizen met kneepconstructie met octalhuls
40 - 50	Rimlockbuizen
60 - 80	subminiatuurbuizen
80 - 90	Novalbuizen
90 - 100	miniatuurbuizen.

Voorbeelden

Een D A F 91 is een batterijbuis voor een gloeispanning van 1,4 V; zij bevat een diode-penthode en is uitgebracht in miniatuuruitvoering.

Een EL41 is een buis voor 6,3 V wisselstroomvoeding; zij is een penthode-eindbuis in Rimlockuitvoering.

Een UBC41 is voor 100 mA gloeistroomvoeding; zij bevat een dubbele diode en triode en is uitgebracht in Rimlockuitvoering.

De typenummers van Amerikaanse radiobuizen zijn samengesteld uit een getal, een of twee letters en een rangnummer. Het eerste cijfer duidt de gloeispanningsgroep aan; de letters hebben geen speciale betekenis.

SAMENVATTING

1. Een radiobuis bestaat uit een glazen (soms metalen) ballon die luchtledig is gepompt en waarin zich een electrodensysteem bevindt.
2. Het eenvoudigste electrodensysteem bestaat uit twee electroden: de kathode en de anode.
3. Men onderscheidt de kathode naar haar constructie in:
   a. Direct verhitte kathode, waarbij de gloeidraad het emitterende lichaam is;
   b. Indirect verhitte kathode, waarbij de gloeidraad slechts als verhittingselement dienst doet. Het emitterende lichaam is nu het met een oxydelaagje bedekte kathode-buisje.
4. Uit oogpunt van gloeidraadvoeding deelt men de radiobuizen in de volgende groepen in:
   a. Buizen voor batterijvoeding (Gloeispanning 1,2 - 1,4 V)
   b. Buizen voor accuvoeding (Gloeispanning 6,3 V)
   c. Buizen voor wisselstroomvoeding (Gloeispanning 6,3 V)
   d. Buizen voor gelijkstroom/wisselstroomvoeding (Gloeistroom 100. 200 of 300 mA).
5. Rondom de kathode vormt zich een ruimtelading die wordt gevormd door de geëmitteerde,negatief geladen,electroden.
6. Ter beinvloeding van de electronenstroom naar de anode brengt men in de meeste buizen tussen de anode en de kathode één of meer roosters aan.
7. Men onderscheidt de buizen ook naar het aantal electroden.
   Een diode is een buis met 2 electroden
   Een triode is een buis met 3 electroden
   Een tetrode is een buis met 4 electroden
   Een penthode is een buis met 5 electroden
   Een hexode is een buis met 6 electroden
   Een heptode is een buis met 7 electroden
   Een octode is een buis met 8 electroden
   Een enneode is een buis met 9 electroden.
8. De belangrijkste uitvoeringen van de radiobuis, die thans voorkomen, zijn:
   a. Glazen ballon met kneepconstructie en huls met zijcontacten.
   b. Glazen of metalen ballon met kneepconstructie en huls met acht pennen (Octal-huls).
   c. Sleutelbuis met glazen bodem en metalen zoekstift.
   d. Rimlockbuis met glazen bodem en een zoeknokje op de zijkant van de ballon.
   e. Miniatuurbuis met glazen bodem en zeven pennen.
   f. Novalbuis met glazen bodem en negen pennen.
   g. Subminiatuurbuis met glazen bodem en aansluitpennetjes of aansluitdraden.
9. De Europese typenummers bestaan uit twee of meer letters en één of twee cijfers. De eerste letter duidt de gloeidraadvoeding aan; de tweede en eventueel volgende letter duidt het systeem van de buis aan. De daaropvolgende cijfers hebben betrekking op de uitvoering van de buis.

VRAGEN EN VRAAGSTUKKEN

1. De in serie geschakelde buizen UCH 42, UAF 42, UBC 41, UL 41 en UY 41 moeten in serie met een weerstand, op de netspanning van 220 V worden aangesloten. De gloeistroom van deze buizen is 100 mA. De gloeispanning van deze buizen bedraagt resp. 14 V, 12,6 V, 14 V, 45 V en 31 V. Welke waarde moet de serieweerstand hebben en voor welk vermogen moet deze weerstand worden berekend?

2. Leidt uit het typenummer af wat voor buizen de volgende typen zijn:

   EAF 42
   UL 41
   DL 92
   EF 80
   UCH 42

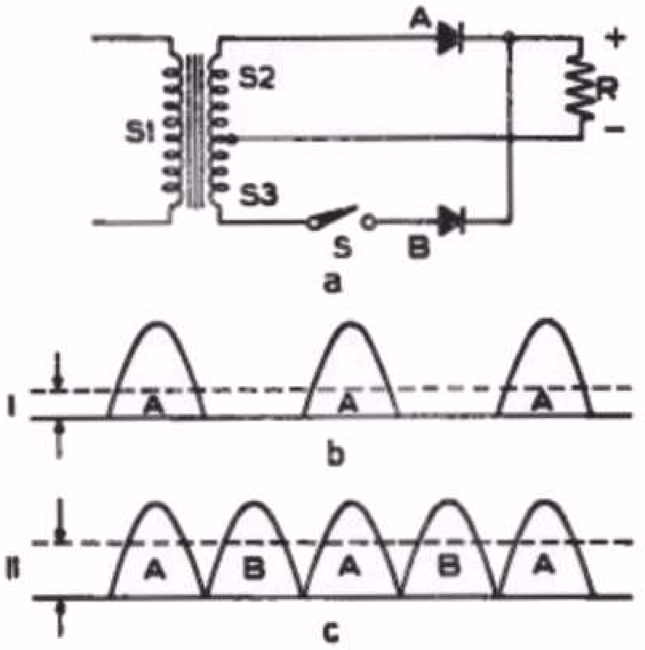
3. Ga aan de hand van fig. 6 na, welke frequentie de bromspanning heeft tengevolge van de temperatuurvariaties bij wisselstroomvoeding. De frequentie van de wisselstroom is 50 Hz.

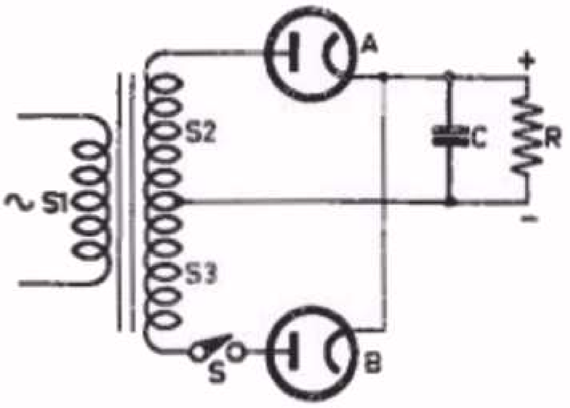
4. Teken het schema van fig. 13 uit les 11, waarin U echter de Germaniumdioden vervangt door enkelfazige gelijkrichtbuizen (enkele dioden).

60. Gelijkrichting. (Voedingsgedeelte)

A. Gelijkrichter voor aansluiting op wisselspanningsnetten.

In les 11 is het principe en de toepassing van de gelijkrichter reeds behandeld. Hierbij werd gebruik gemaakt van Germanium-dioden. Wij zullen thans de gelijkrichter bekijken met gebruik van de normale diode (2 electrodenbuis). Wij gaan hiervoor uit van fig. 13 uit





Het schema van fig. 1a, waarin nu echter de Germanium-dioden door normale dioden zijn vervangen en parallel aan de belastingsweerstand R de condensator C is aangebracht.

Fig. 2

a. Schakeling voor het demonstreren van enkelfasige gelijkrichting (schakelaar S open) en dubbelfasige gelijkrichting (schakelaar S gesloten).

b. Enkelfasig gelijkgerichte spanning. I geeft het niveau van de gemiddelde spanning weer.

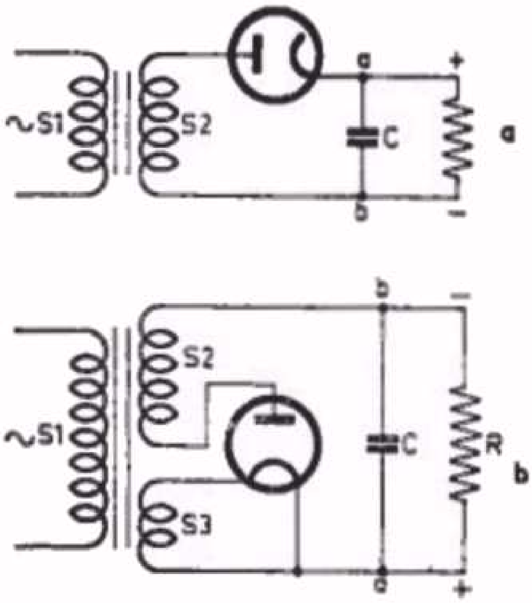
c. Dubbelfasig gelijkgerichte spanning. II geeft het niveau van de gemiddelde spanning weer.

Fig. 1

les 11 die wij opnieuw hebben afgebeeld in fig. 1, waarin wij echter de meter hebben vervangen door een belastingsweerstand R. (Deze weerstand is een denkbeeldige weerstand; hij wordt gevormd door de stroom-afnemende radiobuizen en de grootte wordt bepaald door de gelijkspanning gedeeld door de afgenomen gelijkstroom). Vervangen wij nu in dit schema de Germanium-dioden door normale dioden, dan ontstaat het schema van fig. 2. Hierin hebben wij tevens parallel aan de belastingsweerstand R een condensator C getekend. Voor de eenvoud van de figuur hebben wij de gloeidraadvoeding van de dioden weggelaten. Zoals reeds in les 11 is verteld, ontstaat het beeld van fig. 1b bij enkelfasige gelijkrichting (schakelaar S open) en het beeld van fig. 1c bij dubbelfasige gelijkrichting (schakelaar S gesloten).

Door het aanbrengen van de condensator C krijgt de spanning over R een ander beeld. Om dit te bekijken, zullen wij eerst fig. 2 in zijn eenvoudigste vorm voor enkelfasige gelijkrichting tekenen. Er ontstaat dan fig. 3a. Fig. 3b geeft hetzelfde schema, nu echter met de gloeidraadvoeding via een aparte wikkeling op de transformator. Zoals we reeds geconstateerd hebben, ontstaat bij enkelfasige gelijkrichting het beeld van fig. 1b, als de condensator C niet aanwezig is. Door de condensator verandert echter de situatie. Zodra de gelijkrichtbuis stroom doorlaat, wordt de condensator C opgeladen.

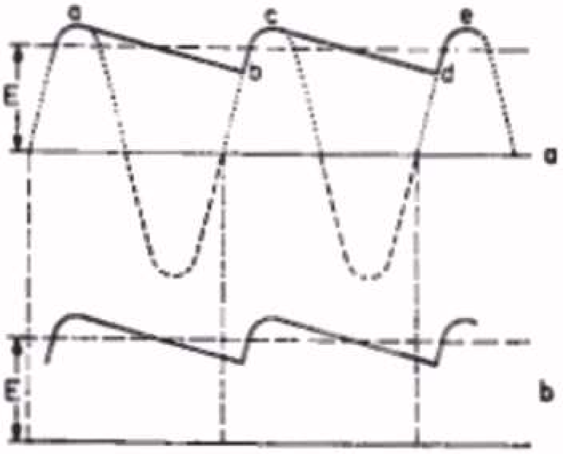
Er loopt weliswaar tegelijkertijd een stroom door de parallel geschakelde weerstand R; dit houdt echter het opladen van de condensator niet tegen. Nemen wij eenvoudigheidshalve aan, dat de condensator tot de topwaarde van de wisselspanning wordt opgeladen, dan is de spanning over de condensator (na ¼ periode) gelijk aan punt a in fig. 4a. Daarna daalt de wisselspanning en wordt zij in de volgende halve periode zelfs negatief. Zonder condensator zou er geen stroom door R lopen. Nu voedt de lading op de condensator C echter de weerstand R, zodat ook in de negatieve fase een stroom door de weerstand R vloeit. De condensator ontlaadt zich dus over de weerstand R. Hoeveel lading de condensator C kwijt raakt, hangt van de waarde van de weerstand R af. Zodra de spanning in de volgende halve periode een waarde b heeft bereikt, wordt de condensator opnieuw bijgeladen tot de topwaarde x) en daarna ontlaadt de condensator zich weer en herhaalt zich hetzelfde proces. Bij de gelijkrichter met condensator heeft dus een voortdurende op- en gedeeltelijke ontlading van de condensator C plaats, waardoor de spanning over de condensator om een gemiddelde waarde E schommelt. Dit is de gelijkspanning, die door de gelijkrichter wordt geleverd. De variatie van de spanning kan men als een wisselspanning beschouwen, met een frequentie, gelijk aan de netfrequentie (zie fig. 4b). De geleverde gelijkspanning is nu hoger dan in het geval zonder condensator. Uit de werking van de condensator C blijkt



a. Het principeschema van een enkelfasige gelijkrichter (gelijk aan schema fig. 2 met schakelaar S open).

b. Het principeschema van fig. 3a zodanig getekend, dat de gloeidraad van de gelijkrichtbuis door middel van de nettransformator wordt gevoed.

Fig. 3



a. Het beeld van de enkelfasig gelijkgerichte spanning over de buffercondensator C van fig. 3a.

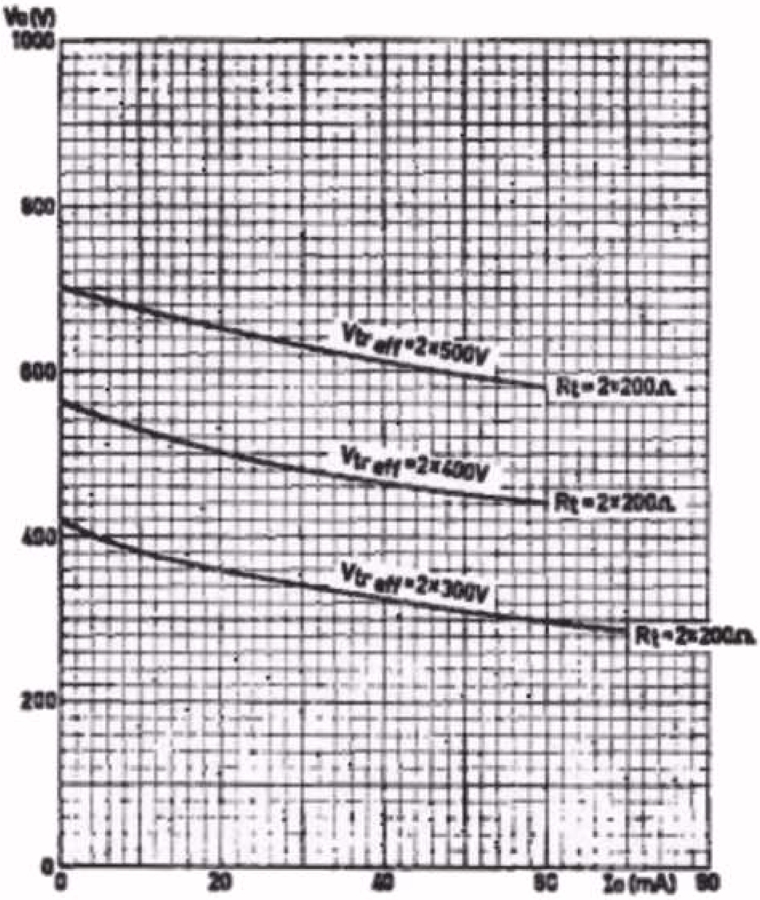
b. Detail van fig. 4a. Hieruit blijkt dat de rimpelspanning een frequentie heeft die gelijk is aan de netfrequentie.

Fig. 4

x) In werkelijkheid bereikt de spanning over de condensator deze topwaarde niet. Voor de eenvoud van behandeling nemen wij echter aan, dat deze spanning tot aan de topwaarde van de wisselspanning komt.

dat deze als het ware een reservoir van electronen vormt, waaruit in de negatieve fase stroom aan de belastingsweerstand R wordt geleverd. Men noemt deze condensator daarom wel reservoircondensator of buffercondensator.

Deze spanning dient voor voeding van de verschillende electroden van de versterkerbuizen in het ontvangtoestel.[x] Nu bevindt zich bij deze gelijkspanning nog een wisselspanning met de netfrequentie (men noemt deze wisselspanning wel rimpelspanning). Aangezien deze rimpelspanning het gevolg is van de ladingsverandering van de condensator C, volgt hieruit dat, naarmate de verandering van de lading groter is, een grotere rimpelspanning ontstaat. Als dus de weerstand kleiner is, d.w.z. bij een bepaalde gelijkspanning een grotere stroomafname, zal de ladingsverandering groter zijn en wordt dus de rimpelspanning groter. Als de condensator C een kleine capaciteit heeft, zal bij een bepaalde ladingsverandering de invloed groter zijn, dan in het geval van een grote capaciteit. Dit heeft tot gevolg dat de rimpelspanning ook groter is, naarmate de condensator C kleiner is[xx]. (Zie blz. 4)



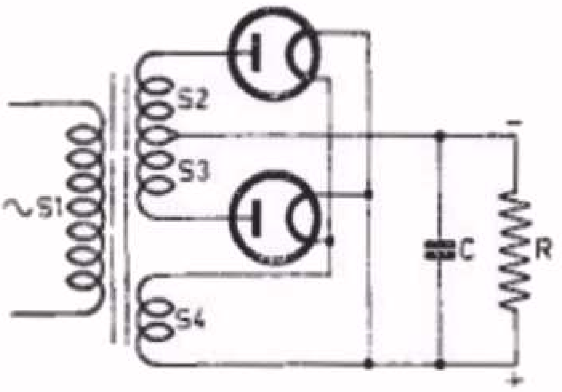
De gelijkspanning in afhankelijkheid van de afgenomen gelijkstroom voor drie verschillende transformatorwisselspanningen voor de gelijkrichtbuis AZ 41. De totale weerstand in de gelijkrichtketen bedraagt in alle drie de gevallen 200 Ohm.

Fig. 5

---

x) De grootte van deze gelijkspanning hangt nog af van de weerstand in de gelijkrichtketen. Deze weerstand wordt o.a. gevormd door de Ohmse weerstand van de transformator en de inwendige weerstand van de gelijkrichtbuis. Naarmate meer stroom wordt afgenomen, zal meer spanningsverlies over deze weerstanden ontstaan en zal de geleverde gelijkspanning kleiner zijn. Zo krijgt men b.v. voor de dubbelfasige gelijkrichtbuis AZ 41 het beeld van fig. 5. Hierin ziet men verticaal de gelijkspanning afgebeeld, horizontaal de afgenomen gelijkstroom, bij een totale weerstand in de gelijkrichtketen van 200 Ohm en voor drie verschillende transformatorspanningen. Hieruit ziet men tevens, dat bij nullast, d.w.z. geen stroomafname, de spanning over de buffercondensator oploopt tot 1,4 x de effectieve transformatorspanning (bij 300 V_{eff} b.v. tot 300 x 1,4 = 420 V). Bij de keuze van de bedrijfsspanning van de buffercondensator dient men met dit feit terdege rekening te houden.

Keren we nu weer terug naar het schema van fig. 2 en tekenen wij de situatie voor dubbelfasige gelijkrichting, dan ontstaat fig. 6. Hierin hebben wij reeds de gloeidraadvoeding door middel van de transformator aangegeven. Zoals we in les 11 hebben gezien, wordt nu ook gebruik gemaakt van de negatieve fasen van de wisselspanning, waardoor, zonder condensator C, het beeld van fig. 1c ontstond; met de condensator C ontstaat het beeld van fig. 7a. Deze figuur heeft veel overeenkomst met fig. 4a; er ontstaat weer een fluctuerende gelijkspanning. Wij kunnen echter de volgende verschillen constateren:

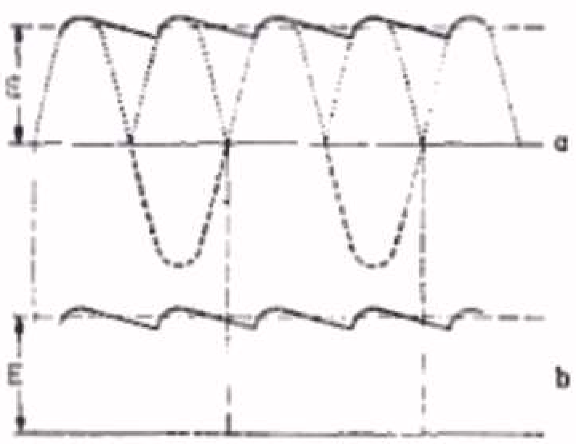


Principeschema van een dubbelfasige gelijkrichter met 2 enkele dioden.

Fig. 6

1. In fig. 7a zijn ook de negatieve helften benut (dubbelfasige gelijkrichting).
2. De condensator C wordt dientengevolge gedurende een kortere tijd over de weerstand R ontladen; de ladingsverandering zal daarom kleiner zijn en de rimpelspanning zal dus kleiner zijn.
3. De rimpelspanning heeft nu een tweemaal zo hoge frequentie als bij enkelfasige gelijkrichting (zie fig. 7b).

Overigens geldt ook bij dubbelfasige gelijkrichting dezelfde afhankelijkheid van de rimpelspanning van de grootte van de condensator C en van de afgenomen stroom. De rimpelspanning neemt dus toe naarmate de afgenomen stroom toeneemt en de condensator C kleiner is x).



a. Het beeld van de dubbelfasig gelijkgerichte spanning over de buffercondensator C van fig. 6.

b. Detail van fig. 7a. Hieruit blijkt, dat de rimpelspanning een frequentie heeft die gelijk is aan de dubbele netfrequentie.

Fig. 7

xx) Men kan de grootte van de rimpelspanning bij enkelfasige gelijkrichting met de volgende vuistformule zeer eenvoudig berekenen:

$$\text{Rimpelspanning} = 4,5 \frac{\text{afgenomen stroom (in mA)}}{\text{capaciteit van de buffercondensator (in } \mu F)} V_{eff}.$$

Voor een afgenomen stroom van 60 mA en een buffercapaciteit van 50 μF wordt de rimpelspanning dus: $4,5 \frac{60}{50} = 5,4\ V_{eff}$.

x) Voor de berekening van de rimpelspanning bij dubbelfasige gelijkrichting heeft men eveneens een eenvoudige vuistformule:

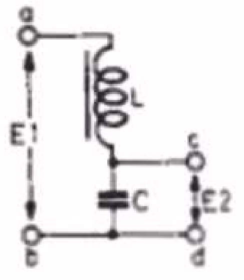
$$\text{Rimpelspanning} = 1,7 \frac{\text{afgenomen stroom (in mA)}}{\text{capaciteit van de buffercondensator (in } \mu F)} V_{eff}.$$

Voor dezelfde waarden van de afgenomen stroom en capaciteit als in de eerste voetnoot komen we tot een rimpelspanning van ca. 2 Veff. Hieruit blijkt, dat de rimpelspanning bij dubbelfasige gelijkrichting aanzienlijk kleiner is, dan bij enkelfasige gelijkrichting.

B. Afvlakking

Als men de gelijkspanning met de aanwezige rimpelspanning zonder meer aan de verschillende electroden van de versterkbuizen zou toevoeren, zou men door de rimpelspanning een bromtoon in de luidspreker horen. Het is daarom nodig, deze rimpelspanning nog te verwijderen, of in elk geval zodanig te verzwakken, dat zij niet meer hoorbaar wordt in de luidspreker. Voor het verzwakken van de rimpelspanning maakt men gebruik van filters, die de gelijkspanning wel doorlaten, de rimpelspanning daarentegen zeer sterk verzwakt doorlaten. Dergelijke filters noemt men afvlakfilters, omdat de spanning in fig. 4a en 7a als het ware vlakker wordt gemaakt.

In fig. 8 is een filter getekend, dat vroeger practisch algemeen in ontvangers werd toegepast, tegenwoordig echter bijna uitsluitend in versterkers. Dit filter bestaat uit een serieschakeling van een spoel L met hoge zelfinductie en een condensator C met grote capaciteit. Deze serieschakeling wordt over de klemmen a en b van de gelijkrichter geschakeld en de gelijkspanning wordt afgenomen van de klemmen c en d over de condensator C. Door de hoge zelfinductie heeft de spoel L een grote weerstand voor de rimpelspanning ($X_L = 6,28 \; f \; L$) (zie les 7). De Ohmse weerstand van de spoel L hebben wij hier eenvoudigheidshalve verwaarloosd). De condensator C heeft echter dank zij zijn hoge capaciteit een lage weerstand voor de wisselstroom ($X_C = \frac{1}{6,28 \; fC}$; zie les 8). Beide elementen werken nu voor de wisselspanning als een spanningsdeler. Uit de theorie van de spanningsdeler (zie les 2 par. 10), weten we dat de spanningen over de weerstanden van de spenningsdeler in dezelfde verhouding zijn als de weerstanden zelf. Als dus de condensator C een zeer kleine weerstand heeft en de spoel L een zeer grote weerstand, betekent dit dat over de condensator C slechts een zeer klein gedeelte van de wisselspanning komt te staan en over de spoel L het grootste gedeelte. Hieruit volgt verder dat dit des te gunstiger wordt, naarmate de spoel L een grotere zelfinductie heeft en de condensator C een grotere capaciteit. Wij zullen dit met een getallenvoorbeeld illustreren. Daartoe gaan wij uit van een spoel (men noemt dit wel een smoorspoel) van 8 H en een condensator van 50 µF. De wisselstroomweerstand van de spoel is bij dubbelfasige gelijkrichting (dubbele netfrequentie) gelijk aan: $X_L = 6,28 \times 100 \times 8 =$ ca. 5000 Ohm (hier is als netfrequentie 50 Hz aangenomen). De condensator heeft voor dezelfde frequentie een wisselstroomweerstand van:



Principeschema van een afvlakfilter, bestaande uit een smoorspoel L en een condensator C. Over de klemmen a en b staat de gelijkspanning + de rimpelspanning; over de klemmen c en d staat de gelijkspanning verminderd met het spanningsverlies in de spoel L en de sterk verzwakte rimpelspanning.

Fig. 8

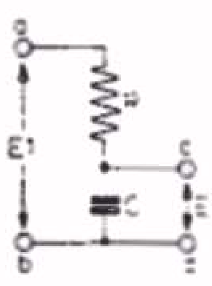
$$X_c = \frac{1}{6,28 \times 100 \times \frac{50}{1.000.000}} = \text{ca. } 32 \text{ Ohm.}$$

De spanningsverdeling zal volgens de verhouding van de wisselstroomweerstanden (van C en L) zijn, zodat over de condensator C slechts ca. $\frac{32}{5000} = \frac{1}{160}$ gedeelte van de oorspronkelijke rimpelspanning zal komen te staan. Voor het voorbeeld in de tweede voetnoot op blz. 4 zou dus de rimpelspanning over de condensator van het afvlakfilter worden

$$\frac{1}{160} \times 2 \text{ V} = \frac{1}{80} \text{ V} = \text{ca. } 12,5 \text{ mV.}$$

Voor enkelfasige gelijkrichting, waarbij de frequentie van de rimpelspanning gelijk is aan de netfrequentie, is de werking van het afvlakfilter minder gunstig. De frequentie is immers de helft van die bij dubbelfasige gelijkrichting, zodat de wisselstroomweerstand van de spoel 2 x kleiner wordt en die van de condensator 2 x groter. Voor bovengenoemd voorbeeld krijgen we dus 2500 Ohm voor de spoel en 64 Ohm voor de condensator, zodat nu de verzwakking van de rimpelspanning ca. 1/40 wordt.

De gelijkstroom zal eveneens de spoel L doorlopen. (De condensator C vormt nu een oneindig hoge weerstand voor deze stroom). In de spoel zal dus eveneens een gelijkspanningsverlies ontstaan, waarvan de grootte afhankelijk is van de Ohmse weerstand van de spoel. Deze weerstand ligt meestal in de grootte-orde van 250 Ohm. Bij een gelijkstroom van 60 mA zou dus een gelijkspanningsverlies ontstaan van 0.06 x 250 = 15 V.
(In les 10 hebben we gezien, dat een serieschakeling van een spoel en een condensator in resonantie kan komen. In dat geval zal de spanning over de condensator juist groter worden. De waarden van L en C moeten daarom in elk geval zo gekozen worden, dat deze resonantie voor de frequentie van de rimpelspanning niet kan optreden).
In de ontvangapparaten is dit afvlakfilter bijna geheel verdrongen door een filter, bestaande uit een weerstand en een condensator. (fig. 9) In principe is de werking van dit filter geheel gelijk aan dat van fig. 8. De weerstand R is in de plaats gekomen van de spoel L. De weerstand moet nu dus een zodanige waarde hebben, dat deze groot is vergeleken bij de wisselstroomweerstand van de condensator. In dat geval kan men voor de spanningsverhouding $\frac{E2}{E1}$ de verhouding van $\frac{X_C}{R}$ nemen. Ter illustratie een practisch getallenvoorbeeld. Daartoe gaan wij uit van een weerstand van 1200 Ohm, een capaciteit van 50 µF en een frequentie van 50 Hz (enkelfasige gelijkrichting). Uit het voorgaande getallenvoorbeeld bleek dat de wisselstroomweerstand van deze condensator ca. 64 Ohm bedraagt. De spanningsverzwakking wordt dus:



Principeschema van het afvlakfilter, bestaande uit een weerstand en een condensator.

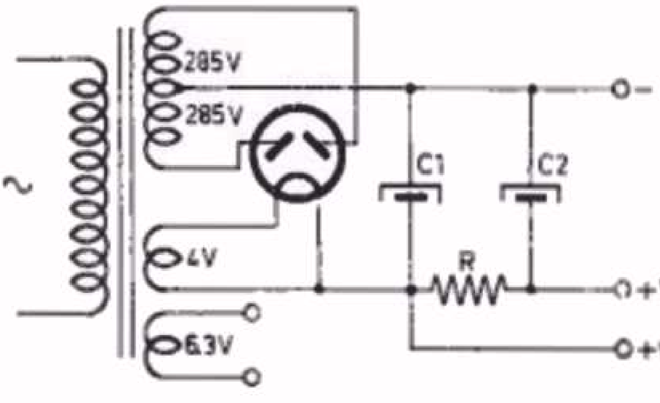
Fig. 9

$$\frac{E2}{E1} = \frac{X_C}{R} = \frac{64}{1200} = \text{ca. } \frac{1}{20}$$

Voor dubbelfasige gelijkrichting is de frequentie 2 x zo groot, dus de wisselstroomweerstand van de condensator 2 x zo klein. X_C = dus 32 Ohm. Voor de spanningsverzwakking verkrijgen we nu een factor $\frac{1}{40}$.

Men zou kunnen redeneren dat de rimpelspanningsverzwakking nog groter gemaakt zou kunnen worden door een hogere waarde voor de afvlakweerstand R te nemen. Wij komen nu echter een andere moeilijkheid tegen: het gelijkspanningsverlies in deze weerstand. Ook voor gelijkstroom blijft de weerstand 1200 Ohm. Voor een stroomafname van 60 mA betekent dit een spanningsverlies van 0,06 x 1200 = 72 V. Om eenzelfde uitgangsspanning als bij het afvlakfilter met een spoel te verkrijgen, zou men de secundaire transformatorspanning moeten verhogen. Dit zou echter verschillende nadelen met zich brengen. Men lost dit probleem op de volgende wijze op:
De grootste stroomafnemer - dit is de eindbuis - wordt vanaf de buffercondensator gevoed. In dat geval is de gelijkstroom door de afvlakweerstand veel kleiner en dientengevolge ook het spanningsverlies. Nemen wij als voorbeeld de eindbuis EL 41, die een gelijkstroom van ca. 35 mA van de gelijkrichter afneemt, dan blijft er van de 60 mA(=het gelijkstroomverbruik in een normale radio-ontvanger) 25 mA over. Deze 25 mA veroorzaken dan over de weerstand van 1200 Ohm een spanningsverlies van 30 V, hetgeen natuurlijk aanzienlijk minder is dan de 72 V van het voorgaande voorbeeld. Omdat de spanning voor de eindbuis dan van de buffercondensator wordt afgenomen, heeft men wel meer kans op brom in verband met de rimpelspanning, die zich over deze buffercondensator bevindt. Dit nadeel kan men echter op verschillende wijzen opheffen. Wij komen hierop in latere schemabesprekingen nog terug.

Het complete voedingsgedeelte van een wisselstroomontvanger is nu in fig. 10 getekend. Uit de grote waarden van de capaciteit van de condensatoren C1 en C2 blijkt reeds, dat zij electrolytische condensatoren zullen zijn. Dit type condensator wordt ter onderscheiding van de andere condensatorconstructies door een speciaal symbool aangegeven, hetgeen ook in fig. 10 is geschied. De als ⊓ getekende plaat is hierbij de mantel van de condensator en steeds de -pool. In deze figuur is de dubbelfasige gelijkrichtbuis aangegeven, zoals normaal in de schema's wordt getekend. De wikkeling van 6,3 V dient voor de voeding van de gloeidraden van ontvangbuizen.

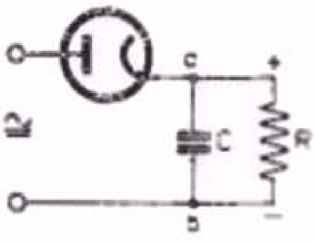


Principeschema van het complete voedingsgedeelte van een ontvanger voor wisselstroomvoeding.

Fig. 10

C. Gelijkrichter voor aansluiting op gelijk- en wisselspanningsnetten.

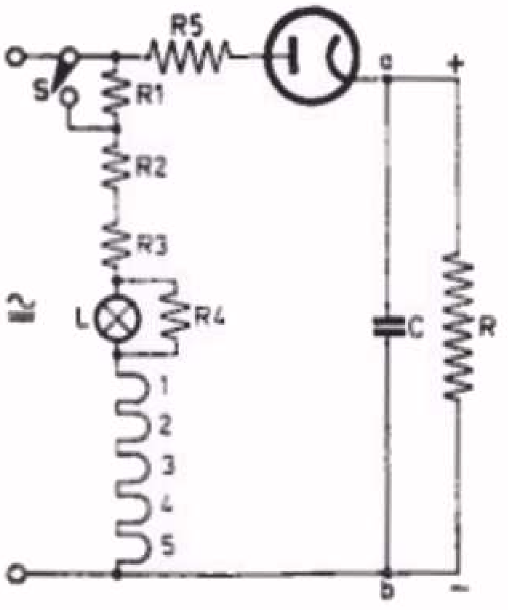
Zoals wij reeds in de voorgaande les hebben verteld, moet men ook rekening houden met gelijkspanningsnetten. De spanning van een dergelijk net zou men eigenlijk niet behoeven gelijk te richten; men heeft hoogstens een afvlakfilter nodig om de wisselspanningscomponenten die steeds op een dergelijke gelijkspanning aanwezig zijn, te verzwakken. Aangezien men echter het ontvangtoestel zo universeel mogelijk maakt, heeft men deze ontvangers steeds zodanig ingericht, dat zij zowel geschikt zijn voor aansluiting op gelijkspanningsnetten als op wisselspanningsnetten. In verband met de laatste mogelijkheid heeft de ontvanger dus toch een gelijkrichter nodig. Aangezien het toestel echter tevens op een gelijkspanningsnet moet kunnen worden aangesloten, kan men hierbij geen gebruik maken van een transformator. De wikkeling van een transformator betekent nl. practisch een kortsluiting bij aansluiting op een gelijkspanning (zie hiervoor ook les 7). Het principe van deze gelijkrichter wordt daarom zoals in fig. 11 is aangegeven. Vergelijkt men deze figuur met fig. 3a dan ziet men onmiddellijk de overeenkomst. Inplaats van de transformator S1-S2 komt nu de netspanning rechtstreeks op de gelijkrichter. Verder geldt hiervoor dan ook hetzelfde als in het voorgaande reeds is verteld over de enkelfasige gelijkrichter en de afvlakking.



Principeschakeling van een enkelfasige gelijkrichter.

Fig. 11

De voeding van de gloeidraad van de gelijkrichter kan nu echter niet door middel van de transformator geschieden, hetgeen eveneens geldt voor de gloeidraden van de andere ontvangbuizen. Zoals wij reeds in les 12 kort hebben aangestipt, schakelt men dan de gloeidraden in serie en het geheel met een serieweerstand op de netspanning. Voor dit type ontvangtoestellen, d.w.z. voor universele voeding, gebruikt men dan ook buizen met dezelfde gloeistroom, zoals de z.g. U-buizen met een gloeistroom van 100 mA. Een veel gebruikte serie is bijv.:
UCH 42 - UAF 42 - UBC 41 - UL 41 - UY 41 - (zie ook vraagstuk 1 van les 12), waarvan de totale gloeispanning 116,6 V bedraagt. Voor elke hogere spanning moet men dus een weerstand in serie opnemen. Voor 220 V wordt dit bv. 1044 Ohm, voor 200 V 834 Ohm. Wil men dus het ontvangtoestel op verschillende netspanningen kunnen aansluiten, dan moet men de totale serieweerstand in verschillende afzonderlijke weerstanden verdelen, die men door middel van een schakelaar kan kortsluiten. Een voorbeeld van een dergelijke schakeling geeft fig. 12. In deze figuur ziet U tevens een weerstand in serie met de anode van de gelijkrichtbuis opgenomen. Dit is noodzakelijk bij netspanningen boven 125 V en dient voor beveiliging van de gelijkrichtbuis. Een ander probleem bij ontvangers met universele voeding is de voeding van het schaalverlichtingslampje. Dit lampje, dat meestal een betrekkelijk lage spanning heeft, dient uiteraard eveneens in de serieketen van de gloeidraden te worden opgenomen. De gloeidraden van de ontvangbuizen bezitten echter uit oogpunt van weerstand een eigenaardige eigenschap. De weerstand van deze gloeidraden is in



Vereenvoudigde schakeling van het complete voedingsgedeelte van een ontvanger voor voeding uit gelijkstroom/wisselstroomnetten van 200 en 220 V. Voor 200 V wordt de weerstand R1 door middel van de schakelaar S kortgesloten.

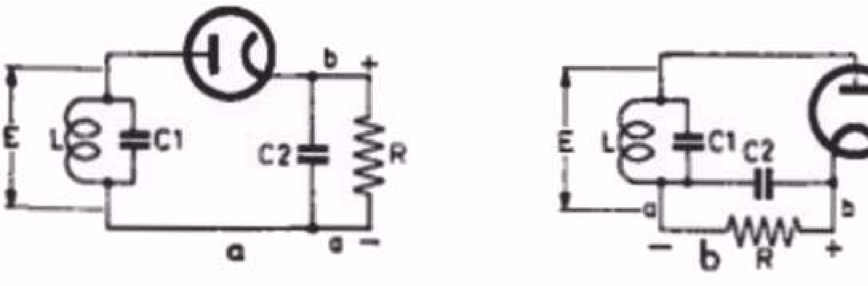
R1 = 200 Ω
R2 = 240 Ω
R3 = N.T.C. weerstand (koud ca. 3000 Ω)
(warm ca. 220 Ω)
R4 = N.T.C. weerstand (koud ca. 10000 Ω)
(warm ca. 250 Ω)
R5 = 180 Ω

Fig. 12

koude toestand ca. 1/7 van die in warme toestand. De gehele serieketen met serieweerstand is berekend met de weerstand van de gloeidraden in warme toestand. Dit heeft tot gevolg, dat bij het inschakelen van het toestel, als de gloeidraden dus nog koud zijn, de stroom in de keten veel groter is, dan die in warme toestand. Deze veel grotere stroom kan het schaalverlichtingslampje niet verdragen, zodat men er iets op moet vinden om de nadelige invloed van de inschakelstroomstoot op te vangen. Hiervoor maakt men gebruik van N.T.C. weerstanden (zie les 2 par. 9C). Deze hebben een karakter dat juist tegengesteld is aan dat van de gloeidraden van de radiobuis, dus in koude toestand een hoge weerstand en in warme toestand een lage weerstand. In fig. 12 heeft men nu een combinatie van een serie N.T.C. weerstand (R3) en een parallel-N.T.C. weerstand (R4) (d.w.z. parallel aan het schaalverlichtingslampje) toegepast. R3 voorkomt de nadelige invloed van de inschakelstroomstoot. R4 zorgt ervoor dat het toestel blijft werken als het lampje L eventueel doorbrandt. De gloeidraadketen blijft dan toch gesloten. Wij zullen in een latere les, bij de bespreking van ontvangers voor universele voeding, noguitvoeriger terugkomen op de omschakeling voor verschillende netspanningen.

61. Detectie

Wij hebben in les 11 par. 56 reeds de detectie met behulp van een Germanium-diode behandeld. Er is in principe geen verschil of men een Germanium-diode gebruikt of een normale diode, die op electronenemissie berust. Hetgeen in les 11 is gezegd, geldt dan ook in zijn geheel voor het gebruik van de normale diode. Wij willen echter op één punt nog iets nader ingaan. Wij zullen dit doen aan de hand

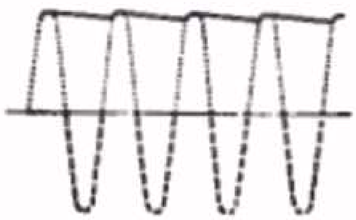


a. Principeschema van een diode-detectortrap.
b.-Gelijk aan fig. 13a, doch op een andere wijze getekend.

Fig. 13

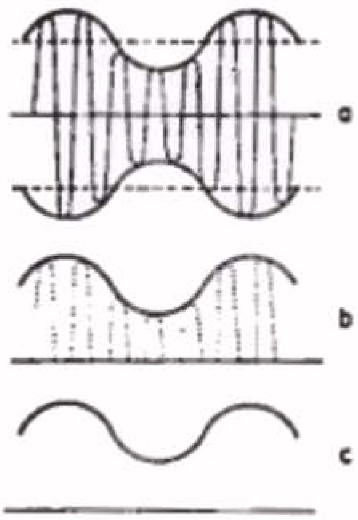
van fig. 13a en b dat het principeschema voorstelt van het diode-detectiegedeelte van een ontvanger. Het schema in fig. 13a is eigenlijk geheel analoog aan dat van fig. 3a. Inplaats van de transformator S1-S2 is nu een afstemkring getekend. Over de afstemkring staat een wisselspanning E, nu echter met een hoge frequentie, namelijk de draaggolffrequentie, waarop de kring is afgestemd. Als de draaggolf ongemoduleerd is, krijgt men hetzelfde beeld, als in fig. 4a. Over de weerstand R, en over de condensator C, ontstaat weer een gelijkspanning met een rimpelspanning (fig. 14). Aangezien de periode van de H.F.-spanning nu een veel kortere tijd in beslag neemt (bij een draaggolffrequentie van 1000 kHz bijv. $\frac{1}{1.000.000}$ sec.) en de weerstand R gewoonlijk een zeer hoge waarde heeft (ca. 0,5 Megohm), zal de ontlading van de condensator veel minder zijn, dan in het geval van fig. 4a. Dit komt hierop neer, dat de rimpelspanning zeer klein zal zijn. Zodra echter de draaggolf gemoduleerd is, varieert de amplitude van de draaggolf in het rhythme van de laagfrequentie. Deze laagfrequentie moeten we na de detectie overhouden. Dit verkrijgt men automatisch, door de condensator C en de weerstand R zodanige waarden te geven, dat de fluctuatie van de spanning voor de draaggolffrequentie verwaarloosbaar klein is, echter de variatie van de amplitude van de H.F. spanning in het laagfrequente rhythme wel duidelijk door de ontlading van de condensator C wordt gevolgd. Aangezien de modulatie-frequentie tot ca. 6000 Hz gaat, de tijd van één periode dus 1/6000 seconde duurt, moet de grootte van R zodanig gekozen zijn, dat de condensator C in de tijd van 1/6000 seconde voldoende de modulatieverandering van de amplitude van de H.F. draaggolf kan volgen. Practische waarden van C en R zijn 100 pF resp. 0,5 Megohm. In fig. 13b is het schema van fig. 13a iets anders getekend. Op deze wijze treft men het dikwijls in de schema's van ontvangers aan. In fig. 15 zijn de verschillende fasen van de detectie van een gemoduleerde draaggolf weergegeven. Men vindt hierin:

a. Het beeld van de gemoduleerde draaggolf.
b. Het beeld van de gedetecteerde gemoduleerde draaggolf.
c. De L.F. spanning die over de weerstand R ontstaat.



Beeld van de gelijkspanning + rimpelspanning over de condensator C in de schakeling van fig. 13a, in het geval van een ongemoduleerde draaggolf.

Fig. 14

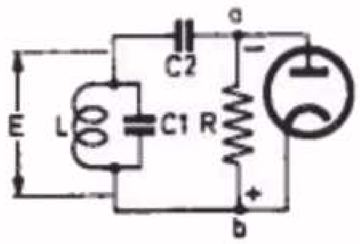


a. Het beeld van een gemoduleerde draaggolf.
b. Het beeld van een gedetecteerde gemoduleerde draaggolf.
c. De L.F. spanning over de weerstand R.

Fig. 15

Het schema van fig. 13 treft men ook wel in gewijzigde vorm aan, zoals in fig. 16 is weergegeven. Het typische verschil met fig. 13 is, dat nu de weerstand R direct parallel aan de diode staat. Overigens speelt zich de detectie op dezelfde wijze af en ontstaat over R de gelijkspanning en de L.F. modula-

tiespanning. Over het gebruik van deze schakeling zullen wij nog in een latere les terugkomen.



Principeschema van een diode-detectortrap, waarbij de weerstand R parallel aan de diode staat.

Fig. 16

SAMENVATTING

1. Bij een (enkelfasige of dubbelfasige) gelijkrichter voor de voeding van een ontvangtoestel, schakelt men over de uitgang van de gelijkrichter een z.g. buffercondensator.

2. Door deze buffercondensator (ook wel reservoircondensator genoemd) verhoogt men het niveau van de gemiddelde gelijkspanning en is de wisselspanningscomponent des te kleiner, naarmate de condensator groter en de afgenomen stroom kleiner is.

3. De rimpelspanning is de wisselspanning die over de buffercondensator ontstaat. Bij enkelfasige gelijkrichting heeft zij een frequentie gelijk aan de netfrequentie; bij dubbelfasige gelijkrichting is de frequentie van de rimpelspanning gelijk aan de dubbele netfrequentie.

4. Men kan de rimpelspanning met behulp van de volgende vuistformules zeer eenvoudig berekenen:
   Enkelfasige gelijkrichting:
   $$\text{Rimpelspanning} = 4,5\,\frac{\text{afgenomen stroom (in mA)}}{\text{capaciteit van de buffercondensator (in }\mu\text{F)}}\,V_{eff}$$
   dubbelfasige gelijkrichting:
   $$\text{Rimpelspanning} = 1,7\,\frac{\text{afgenomen stroom (in mA)}}{\text{capaciteit van de buffercondensator (in }\mu\text{F)}}\,V_{eff}$$

5. Om de nadelige invloed van de rimpelspanning (hoorbaar als brom) te vermijden, wordt achter de buffercondensator nog een afvlakfilter geschakeld. Men heeft filters bestaande uit een spoel en een condensator, of uit een weerstand en een condensator.

6. In het voedingsgedeelte van ontvangers voor wisselstroomvoeding, worden de gloeidraden van de buizen gevoed via een aparte wikkeling op de transformator.

7. In ontvangers voor gelijkstroom/wisselstroomvoeding, kan men geen transformator toepassen. Hier schakelt men daarom de gloeidraden in serie, evt. met tussenschakeling van een weerstand, direct op de netspanning.

8. Het schaalverlichtingslampje in ontvangers voor gelijkstroom/wisselstroomvoeding, wordt eveneens in serie met de gloeidraadketen opgenomen. Ter vermijding van een te hoge inschakelstroomstoot, maakt men hierbij gebruik van een N.T.C. weerstand in serie met het schaalverlichtingslampje.

9. Voor de gelijkrichting van de gemoduleerde draaggolf wordt tegenwoordig meestal een diode-detector gebruikt. De grootte van de detectie-condensator en belastingsweerstand wordt hierbij zo gekozen, dat de H.F. rimpelspanning verwaarloosbaar klein is, de L.F. variatie echter over blijft.

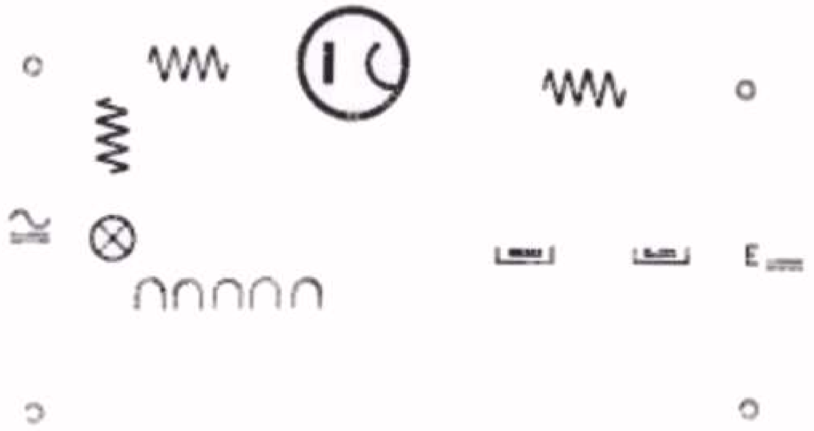
VRAGEN EN VRAAGSTUKKEN

1. Wat zijn de voordelen van dubbelfasige gelijkrichting ten opzichte van enkelfasige gelijkrichting?

2. Bereken het spanningsverlies in een smoorspoel met 2500 windingen (gemiddelde lengte van een winding = 15 cm) van 0,15 mm emailledraad, als de stroomsterkte 60 mA bedraagt. De soortelijke weerstand van de draad bedraagt 0,0175.

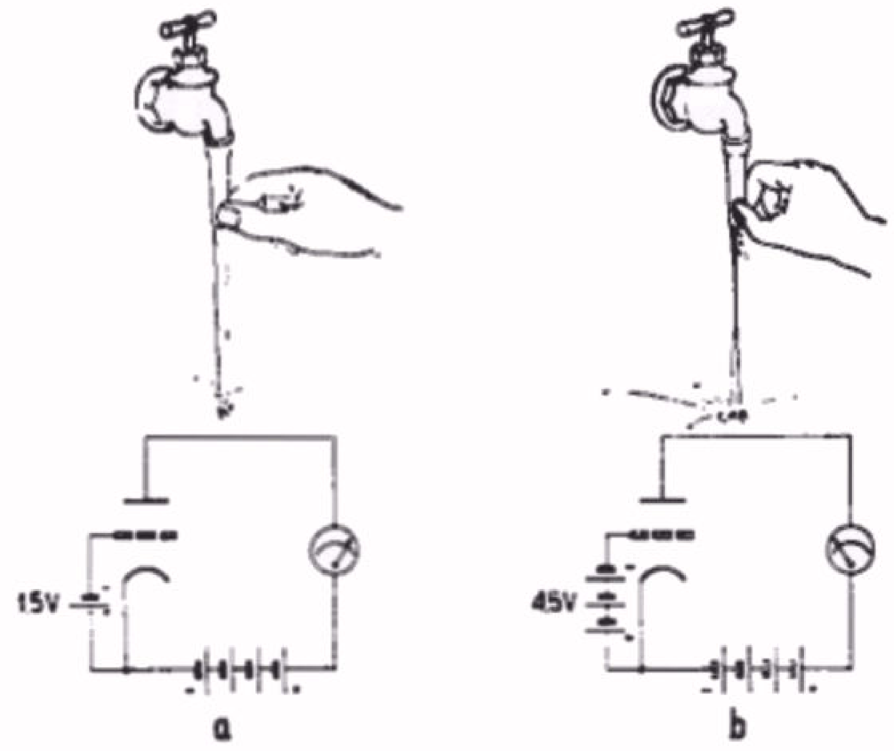
3. Een transformatorspoel bevat 650 m draad met een doorsnede van 0,08 mm^2. Als de E.M.K. van deze spoel 450 Veff bedraagt, hoe groot is dan de klemspanning bij een stroombelasting van 58 mA? De soortelijke weerstand van de draad bedraagt 0,0175.

4. Hieronder zijn getekend de onderdelen en de gelijkrichtbuis van het voedingsgedeelte van een ontvanger voor gelijkstroom/wisselstroomvoeding. Teken de leidingen in de figuur, zodat het totale schema ontstaat.



62. De triode

Zoals wij in les 12, par. 59D, reeds hebben aangestipt, kan men de electronenstroom van de kathode naar de anode beïnvloeden door tussen beide electroden een rooster aan te brengen. In fig. 16 van de zelfde les vond U een voorbeeld hoe een dergelijk rooster eruit ziet en hoe dit schematisch wordt voorgesteld (fig. 14 les 12).



Vergelijkend watervoorbeeld van de invloed van het stuurrooster op de anodestroom met overeenkomstige electrische situatie.

a. Negatieve roosterspanning is gering; grote anodestroom.

b. Negatieve roosterspanning is groter; kleinere anodestroom.

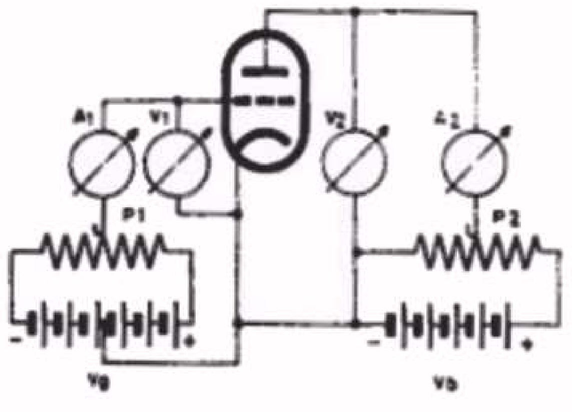
Fig. 1

Om de invloed van het rooster op de electronenstroom in te zien, willen wij eerst een vergelijkend watervoorbeeld bekijken (fig. 1a en b). Sluiten wij een soepele slang op de waterkraan aan, dan is de waterstraal die uit de slang spuit te vergelijken met de electronenstroom die in een radiobuis van de kathode naar de anode loopt. Wanneer wij de slang tussen duim en wijsvinger indrukken, wordt de stroom minder; drukken wij hard genoeg, dan kunnen wij zelfs de stroom helemaal doen ophouden. Drukken wij afwisselend hard en zacht, dan zien wij hoe in hetzelfde tempo de waterstraal dikker of dunner wordt. Nu kunnen wij de druk van de waterleiding vergelijken met de anodespanning en de druk tussen duim en wijsvinger met een negatieve roosterspanning. Door het rooster een negatieve spanning ten opzichte van de kathode te geven, worden immers de negatief geladen electronen naar de kathode teruggestoten. Een geringe roosterspanning komt overeen met een lichte druk van de duim op de slang, een grote negatieve roosterspanning komt overeen met een sterke druk van de duim. Wij kunnen de spanning op het rooster inderdaad zó negatief maken, dat het rooster alle electronen naar de kathode terugstuurt, zodat geen enkel electron er in slaagt om de anode te bereiken, d.w.z. de anodestroom nul wordt.

Op de electronen werken dus feitelijk drie krachten:

1. De kracht die de electronen van de kathode vrijmaakt (afhankelijk van de temperatuur van de kathode).
2. De aantrekkende kracht van de positieve anode.
3. De afstotende kracht van het negatieve rooster.

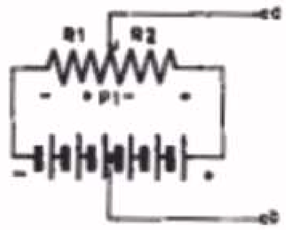
Voor ons zijn de 2 laatstgenoemde krachten de belangrijkste. De eerstgenoemde kracht kunnen we als constant beschouwen. Het hangt dus van de invloed van de laatstgenoemde krachten af, hoeveel electronen de anode zullen bereiken, of in andere woorden, hoe groot de anodestroom zal zijn.



Principeschema voor de meting van Ia/Vg- en Ia/Va-karakteristieken van een triode.

Fig. 2

Wij willen thans iets nader ingaan op de werking van de triode. Daartoe gaan wij uit van de schakeling van fig. 2. Hierin wordt de positieve spanning voor de anode via een potentiometer P2 van de anodebatterij Vb betrokken, en kan aan het stuurrooster via een potentiometer-schakeling een positieve of een negatieve spanning ten opzichte van de kathode worden toegevoerd. (Uit fig. 3 kan men duidelijk zien, dat de roosterspanning negatief wordt als de loper van de potentiometer P1 zich links van het middenpunt bevindt en positief wordt, als de loper zich rechts van het middenpunt bevindt). De meters A1 en A2 zijn mA-meters voor het meten van de roosterstroom resp. de anodestroom en de meters V1 en V2 zijn voltmeters voor het meten van de roosterspanning resp. de anodespanning. Wij beginnen met de loper van de potentiometer P1 in het middenpunt te plaatsen (in fig. 3 is dan R1 = R2), zodat de spanning van het rooster ten opzichte van de kathode 0 V bedraagt. Wij kunnen nu voor verschillende waarden van de spanning op de anode (= anodespanning) nagaan, hoe groot de stroom is, die daarbij vloeit. De waarden van de anodespanning en de anodestroom worden dus afgelezen op de meters V2 en A2. Men krijgt dan een aantal getallen, die men kan uitzetten in een grafiek, de z.g. anodestroom/anodespannings-karakteristiek (of kortweg Ia/Va-karakteristiek). x)



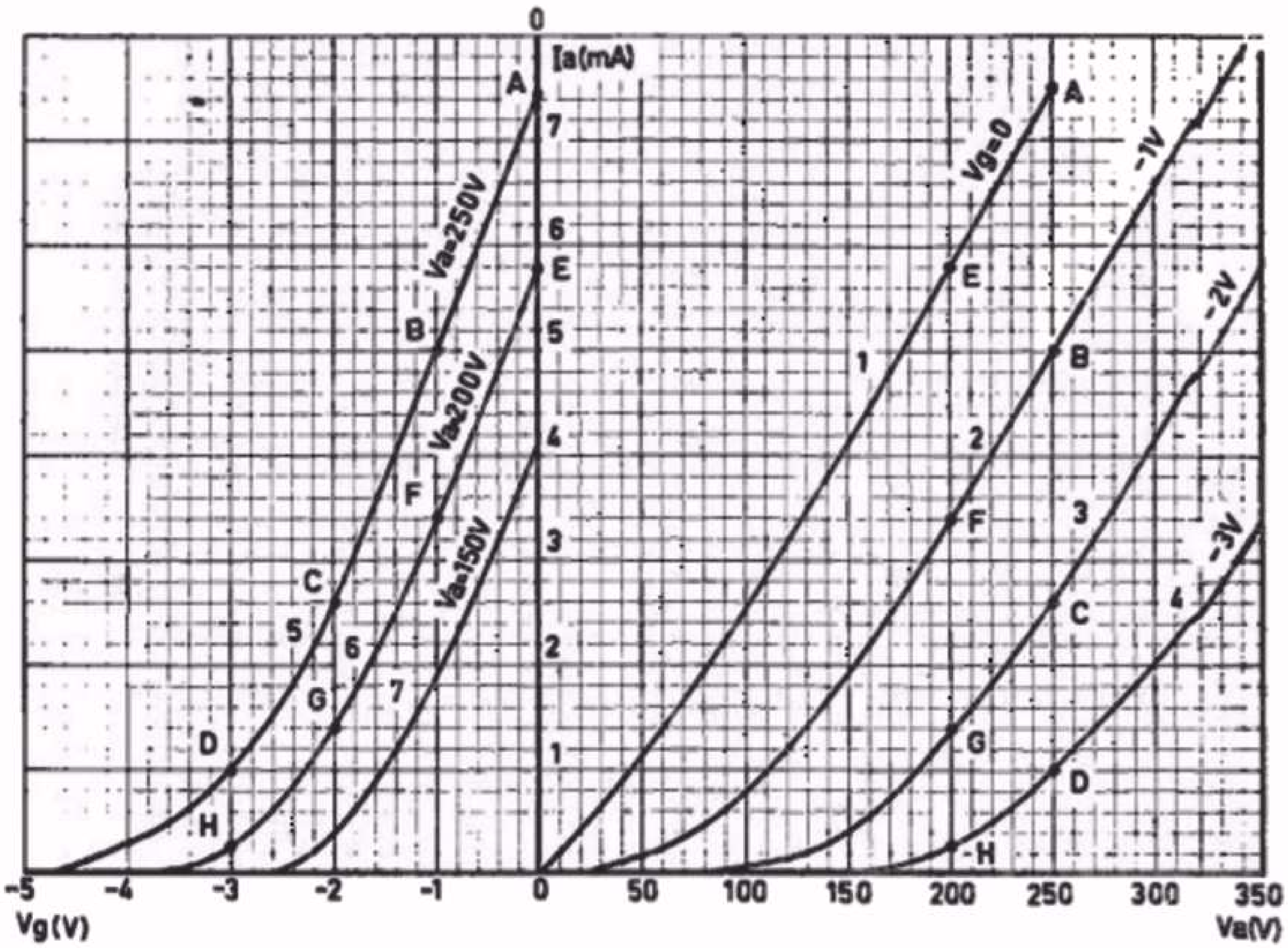
Detail van fig. 2. Klem b bevindt zich op de middenaftakking van de batterij. Afhankelijk van de stand van de potentiometer P1 zal klem a negatief of positief ten opzichte van klem b worden.

Fig. 3

In fig. 4 rechts geeft de grafiek 1 deze getallen weer voor het triode-gedeelte van de EBC 41 (dit is een duo-diode-triode, waarvan wij alleen het triode-gedeelte bekijken). Zoals men uit deze gra-

---

x) De spanningen en stromen van de radiobuizen duidt men meestal met symbolen aan. De spanningen worden voorgesteld door de hoofdletter V, gevolgt door een letter, die de betreffende electrode voorstelt, b.v. Vf = gloeispanning, Va = anodespanning, Vg = roosterspanning, enz.
Zo worden de stromen voorgesteld door de hoofdletter I, gevolgd door de zelfde letters als bij de spanningen; dus If = gloeistroom, Ia = anodestroom en Ig = roosterstroom.



Ia/Vg- en Ia/Va-karakteristieken van een triode.

Fig. 4

fiek ziet, neemt de stroom naar de anode regelmatig toe met een hogere spanning op de anode. Wij hebben deze grafiek slechts getekend tot een waarde van ca. 7,5 mA, die bij een anodespanning van 250 V en een roosterspanning van 0 V optreedt. (Als wij de anodespanning nog meer zouden gaan verhogen, zou men zien, dat op een gegeven moment de stroom niet meer in de zelfde mate toeneemt en boven een bepaalde waarde van de anodespanning zelfs constant blijft. Men heeft dan de z.g. verzadigingsstroom van de buis bereikt. Wij zullen hierop echter niet verder ingaan, omdat de electronenbuizen in een ontvangtoestel nimmer zodanig worden gebruikt, dat zij tot aan de verzadigingsstroom lopen).

Schuiven wij nu de potentiometer P1 zover naar links, dat de meter V1 -1V aanwijst, zodat het rooster 1V negatief is ten opzichte van de kathode (men zegt dan, dat de negatieve roosterspanning -1V is), dan kan men daarna de zelfde metingen doen als bij 0V roosterspanning. Het zal duidelijk zijn, dat bij de overeenkomstige anodespanning van de voorgaande metingen andere stromen zullen worden gemeten. Het rooster is immers negatief ten opzichte van de kathode, zodat het rooster een remmende invloed heeft op de negatief geladen electronen, die het rooster moeten passeren, om op de anode terecht te komen. Dit ziet men ook uit de grafiek 2 in fig.4, waar pas bij ca. 50 V spanning op de anode een geringe stroom begint te lopen, terwijl bij deze spanning in het voorgaande voorbeeld (bij 0V roosterspanning) reeds 1 mA anodestroom liep. Tekent men de meetresultaten weer punt voor punt op, dan verkrijgt men de karakteristiek 2, die vanaf een bepaald punt vrijwel parallel loopt aan de eerste karakteristiek. Zo kan men deze metingen herhalen voor verschillende

waarden van de roosterspanning. De lijnen 3 en 4 stellen de karakteristieken voor bij een negatieve roosterspanning van -2V resp. -3V. De combinatie van deze grafieken noemt men het karakteristiekenbeeld van een radiobuis; het is als het ware het visitekaartje van de betreffende radiobuis.

Wij kunnen de anodestroom ook bekijken voor een vaste anodespanning, echter met een variërende roosterspanning. Voor deze meting blijft de potentiometer P2 in de zelfde positie staan en wordt de anodestroom gemeten voor verschillende standen van de potentiometer P1 (verschillende negatieve roosterspanningen). Zo geeft karakteristiek 5 het beeld weer voor een spanning van 250 V van de anode ten opzichte van de kathode. Bij 0 V roosterspanning is de anodestroom ca. 7,5 mA; naarmate het rooster meer negatief wordt, neemt de anodestroom af, om tenslotte bij -4,8V roosterspanning geheel 0 te worden. Deze -4,8V noemt men de *afknijpspanning*.

Verlaagt men nu de anodespanning tot b.v. 200 V, dan zal natuurlijk een overeenkomstige anodestroom ten opzichte van het voorgaande voorbeeld lager liggen, ten gevolge van de minder aantrekkende kracht van de anode op de electronen. Men kan ook hiervoor punt voor punt optekenen, hoe groot de stroom is bij verschillende waarden van de negatieve roosterspanning; men verkrijgt op deze wijze karakteristiek 6 in fig. 4. Karakteristiek 7 stelt het zelfde voor, echter voor een anodespanning van 150 V. Men ziet dat ook deze karakteristieken bijna geheel evenwijdig aan elkander lopen. Men noemt deze karakteristieken de anodestroom/roosterspannings-karakteristieken of kortweg Ia/Vg-karakteristieken. (Door de loper van de potentiometer P1 rechts van het middenpunt te plaatsen, kan men het rooster een positieve spanning toevoeren. Behalve een grotere anodestroom, constateert men dan tevens een stroom naar het rooster (op meter A1). Aangezien de versterkbuizen in het ontvangtoestel nimmer zo worden gebruikt, dat het rooster positief wordt ten opzichte van de kathode, zullen wij hierop niet dieper ingaan).

Als men de Ia/Vg-karakteristieken en de Ia/Va-karakteristieken van fig.4 met elkander vergelijkt, kan men hierin veel overeenkomst ontdekken. Men kan zelfs het ene stel karakteristieken grafisch construeren met behulp van het andere stel, zonder dat men hiervoor extra metingen heeft uit te voeren. Wij hebben in beide stellen karakteristieken met hoofdletters de overeenkomstige punten aangeduid. Hieruit kan men zien, dat de Ia/Vg-karakteristiek voor een anodespanning van 250 V kan worden opgebouwd uit de punten A, B, C en D van de verschillende Ia/Va-karakteristieken. Dit zijn n.l. de punten, die alle bij een zelfde anodespanning van 250 V behoren.

Aangezien men met behulp van deze karakteristieken het gedrag van een radiobuis in een bepaalde schakeling kan nagaan, worden tegenwoordig van elke radiobuis dergelijke karakteristieken gepubliceerd. Dit gedrag wordt eigenlijk hoofdzakelijk door 3 eigenschappen bepaald, die we in getallen uitdrukken. Deze eigenschappen zijn:

1. *de inwendige weerstand* uitgedrukt in Ohm en voorgesteld door het symbool Ri;
2. *de steilheid* uitgedrukt in mA/V en voorgesteld door S;
3. *de versterkingsfactor*, een verhoudingsgetal dat voorgesteld wordt door de Griekse letter μ.

In les 1 hebben wij gezien, dat spanning, stroom en weerstand door de wet van Ohm onverbrekelijk met elkander zijn verbonden. Het zelfde geldt bij een radiobuis voor de eigenschappen Ri, S en μ (wet van Barkhausen). Wij zullen in de volgende paragrafen zien, hoe wij deze drie eigenschappen uit de Ia/Vg-karakteristieken kunnen bepalen.

63. De inwendige weerstand van een radiobuis (Ri)

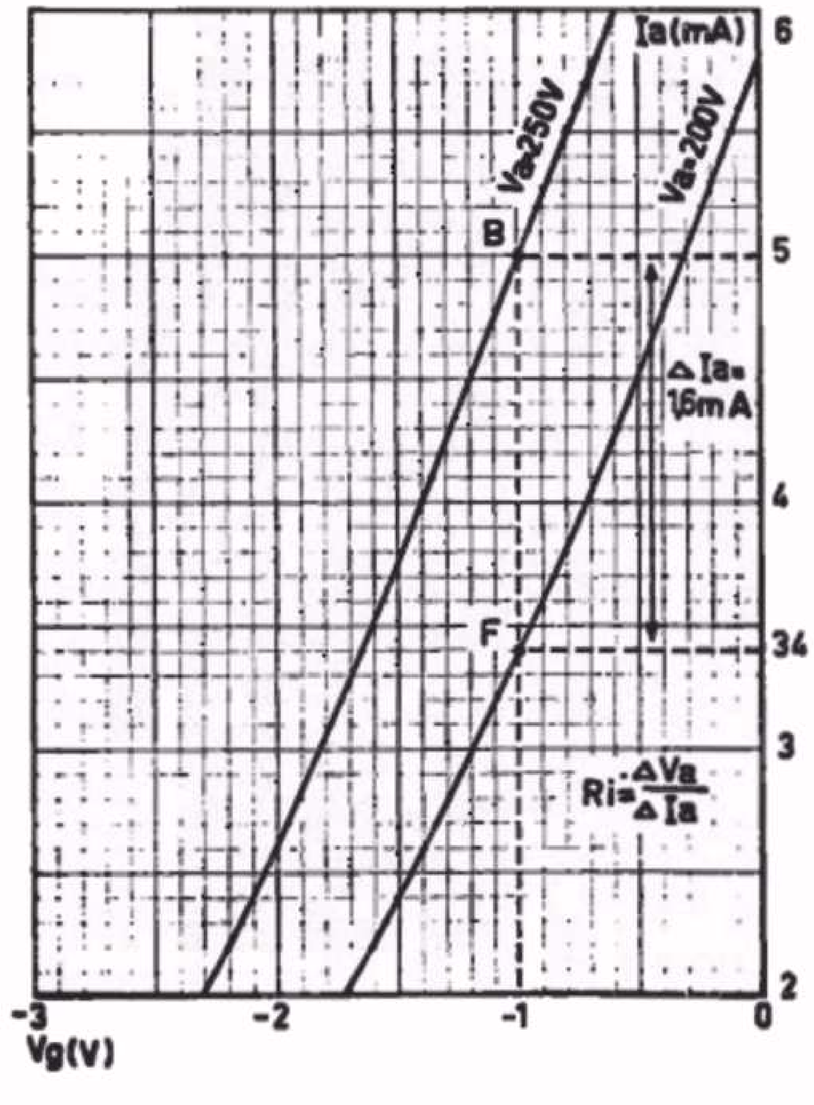
De inwendige weerstand van een radiobuis is eigenlijk een wisselstroom-weerstand, omdat zij wordt bepaald door een anodespannings*verandering* en de dientengevolge optredende anodestroom*verandering* bij een constante roosterspanning. Het quotiënt van deze veranderingen is de inwendige weerstand. In formule geeft dit:

$$Ri = \frac{\Delta Va}{\Delta Ia} \quad \text{(Bij dezelfde waarde van roosterspanning)}$$

(Δ de Griekse letter D, spreek uit delta; het wordt gebruikt als symbool voor een verandering van een bepaalde grootheid).

Wij willen er nadrukkelijk de aandacht op vestigen, dat de inwendige weerstand van een radiobuis niet is de anodespanning gedeeld door de daarbij behorende anodestroom. Een dergelijke weerstand heeft het karakter van een gelijkstroomweerstand, terwijl de inwendige weerstand Ri juist betrekking heeft op *veranderingen* van de spanning en de daarbij behorende stroom.

Wij kunnen uit de karakteristieken van fig. 4 heel eenvoudig aflezen, hoe groot de inwendige weerstand van deze buis is. Bekijken



Detail van de Ia/Vg-karakteristieken van fig. 4, ter bepaling van de inwendige weerstand Ri.

Fig. 5

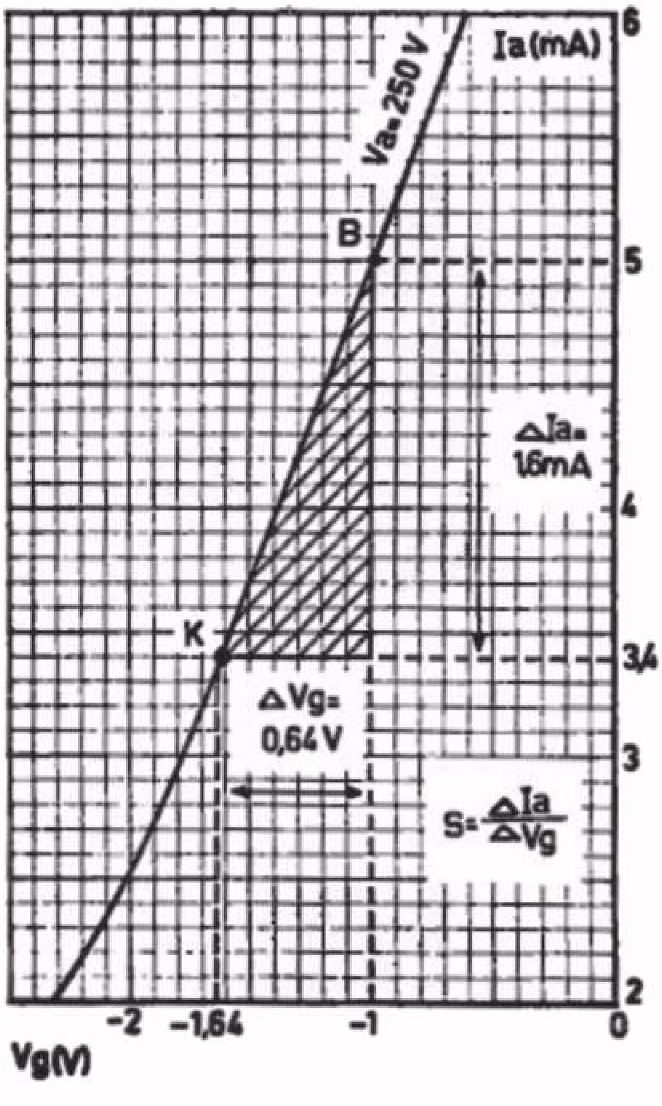
wij de Ia/Vg-karakteristieken (zie eveneens fig.5) bij een constante roosterspanning van -1V, dan stelt de afstand tussen de punten B en F de anodestroomverandering voor bij een anodespanningsverandering van 250 - 200 = 50 V. De afstand B-F komt overeen met 1,6 mA, zodat

$$Ri = \frac{\Delta Va}{\Delta Ia} = \frac{50}{\frac{1,6}{1000}} = ca.\ 31.000\ Ohm = ca.\ 31\ k\Omega$$

Men kan de inwendige weerstand voor verschillende punten in de karakteristiek bepalen en daaruit blijkt, dat in het z.g. rechte gedeelte van de Ia/Vg-karakteristieken de Ri vrijwel constant is; buiten het rechte deel neemt hij echter toe, naarmate de negatieve roosterspanning toeneemt.

64. De steilheid van een radiobuis (S)

De steilheid van een radiobuis geeft aan, hoeveel de anodestroomverandering (in mA) is tengevolge van een roosterspanningsverandering van 1 V bij een vaste waarde van de anodespanning. Aangezien de Ia/Vg-karakteristieken net verband tussen de anodestroom en de roosterspanning weergeven bij een bepaalde anodespanning, slaat het begrip steilheid op deze karakteristieken. Men zou voor steilheid b.v. ook het woord helling kunnen gebruiken. Hoe groter de helling is van de karakteristiek, dus des te steiler de karakteristiek, des te groter is de steilheid. Neemt men b.v. de karakteristiek 5 in fig. 4, die in fig. 6 nog eens apart is getekend, dan behoren de punten B en K bij anodestroomwaarden van 5 resp. 3,4 mA, zodat het anodestroomverschil gelijk is aan 1,6 mA. Deze punten behoren bij roosterspanningen van -1 V en -1,64 V, zodat het roosterspanningsverschil gelijk is aan 0,64 V. Een roosterspanningsverandering van 0,64 V heeft dus een anodestroomverandering van 1,6 mA tengevolge. De steilheid is dan $\frac{1,6}{0,64}$ = ca. 2,5 mA/V.



Detail van de Ia/Vg-karakteristiek voor Va = 250 V uit fig. 4, ter bepaling van de steilheid S.

Fig. 6

De definitie van de steilheid in formule-vorm is:

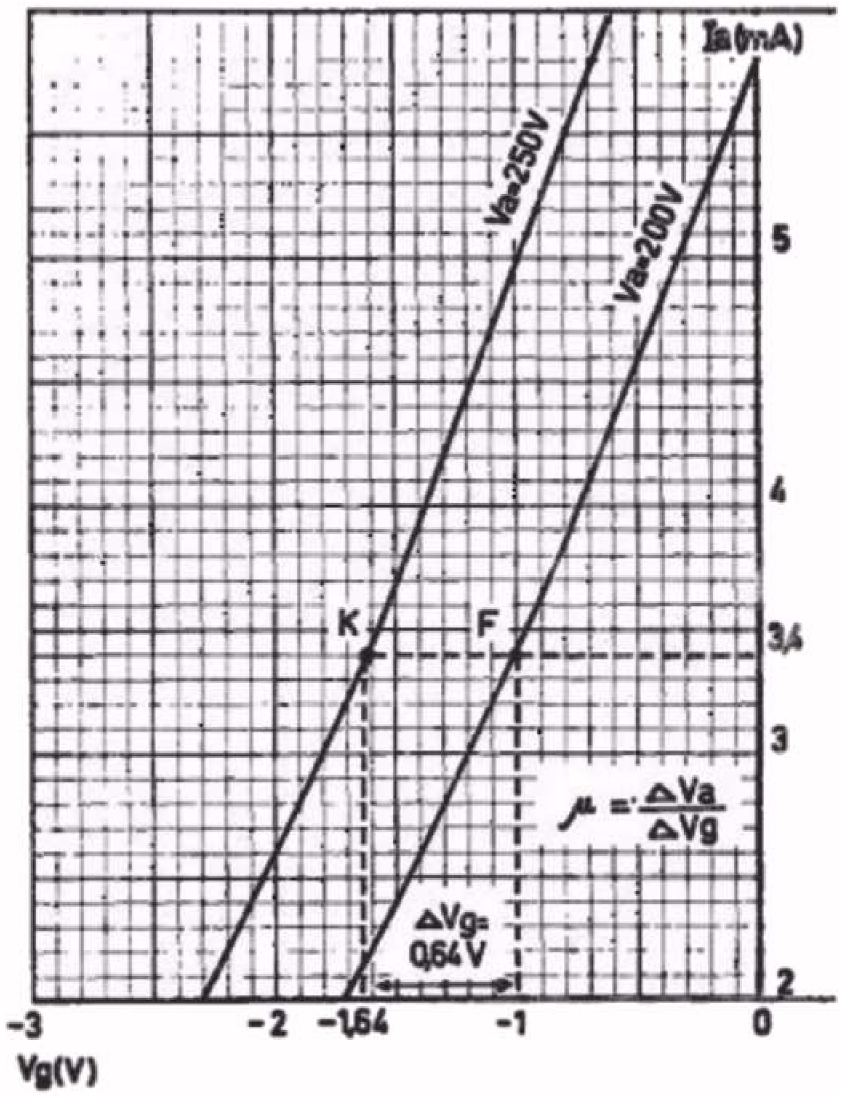
$S = \frac{\Delta Ia}{\Delta Vg}$ (bij een zelfde anodespanning).

(de grootheid mA/V is een maat die het omgekeerde is van die van de

weerstand (Ohm). In de Amerikaanse literatuur drukt men dan ook de steilheid uit in de eenheid micromho $= \frac{1}{1000}$ mA/V; dus 1 mA/V = 1000 micromhos).

65. De versterkingsfactor van een radiobuis (μ)

De derde grootheid van een radiobuis is de versterkingsfactor, gesymboliseerd door de Griekse letter μ. Deze factor is een verhoudingsgetal; het drukt de verhouding van de anodespanningsverandering en de roosterspanningsverandering uit, die ieder voor zich een zelfde



Detail van de Ia/Vg-karakteristieken uit fig. 4 ter bepaling van de versterkingsfactor μ.

Fig. 7

anodestroomverandering zouden veroorzaken. Bekijken we fig.7, dan staat de buis ingesteld in punt K van de karakteristiek voor Va = 250 V. Nu verminderen we Va met 50 V en komen dus in punt Q van de karakteristiek voor Va = 200 V. De afstand K-Q is de anodestroomverandering, veroorzaakt door de anodespanningsverandering van 50 V. We kunnen nu deze anodestroomverandering ongedaan maken door (bij Va = 200 V) de roosterspanning van -1,64 V op -1 V te brengen. We komen nu in punt P, waarbij de anodestroom weer dezelfde waarde heeft als in punt K. We zien hieruit, dat een roosterspanningsverandering van 0,62 V dezelfde invloed heeft als een anodespanningsverandering van 50 V. De versterkingsfactor is dan

$$\mu = \frac{\Delta Va}{\Delta Vg} = \frac{50}{0,64} = 78$$

Aangezien het rooster op een kleinere afstand van de kathode gelegen is dan de anode, is het logisch, dat het rooster een grotere invloed op de uit de ruimtelading tredende electronen heeft dan de anode. Dit is de verklaring van het feit, dat de roosterspannings-

verandering van 0,64 V een even grote invloed op de anodestroom heeft als de anodespanningsverandering van 50 V.

66. Wet van Barkhausen

Tussen de behandelde drie eigenschappen van de buis bestaat nog een eenvoudig onderling verband. Het product van Ri en S is n.l. gelijk aan:

$$Ri \times S = \frac{\Delta Va}{\Delta Ia} \times \frac{\Delta Ia}{\Delta Vg} = \frac{\Delta Va}{\Delta Vg} = \mu$$

Hieruit volgt, dat het product van de inwendige weerstand en de steilheid gelijk is aan de versterkingsfactor. Dus

$$S \times Ri = \mu.$$

Dit verband is algemeen bekend als de *wet van Barkhausen*. Als men dus twee grootheden van de buis weet, kan men met behulp van bovenstaande formule de derde bepalen. Voor de karakteristieken van fig. 4 vonden wij de volgende resultaten:

$S = 2,5$ mA/V
$Ri = 31$ kΩ
$\mu = 78.$

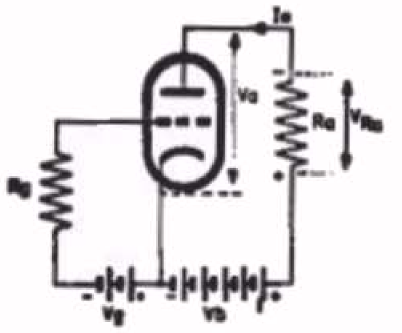
Het product van Ri en S geeft inderdaad weer het getal 78. (Bij deze bewerking moet men er aan denken, dat de grootheid mA/V eerst herleid moet worden tot A/V.)

Ter illustratie nog het volgende voorbeeld: Van het triodegedeelte van de ECH 42 is bekend: $S = 2,8$ mA/V en $\mu = 22$. De inwendige weerstand Ri kan nu onmiddellijk worden berekend uit:

$$Ri = \frac{\mu}{S} = \frac{22}{\frac{2,8}{1000}} = \text{ca. } 8000 \text{ Ohm.}$$

67. Het versterken van wisselspanningen met behulp van een radiobuis.

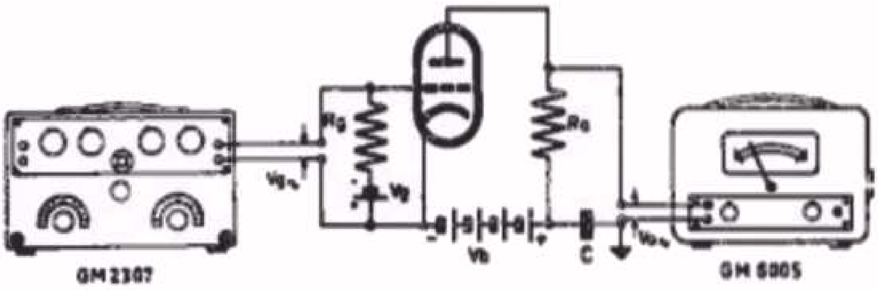
In de meetschakeling van fig. 2 kan men waarnemen, wat er gebeurt als de spanning op het rooster of op de anode verandert. Voor de practische toepassing van de buis heeft deze schakeling echter geen enkele waarde. Als versterkbuis is het de bedoeling, dat een bepaalde wisselspanning tussen rooster en kathode in versterkte mate in de anodeleiding te voorschijn komt. Dit is alleen mogelijk, als een bepaalde weerstand in de anodeleiding is opgenomen. In dat geval immers verwekt de anodestroomverandering een spanningsverandering over de betreffende weerstand. Het eenvoudigste geval wordt door het schema van fig. 8 weergegeven, waar in de anodeleiding een ohmse weerstand Ra is opgenomen. Wij zullen deze schakeling eerst aan de hand van een proef bekijken (zie fig. 9). Hierin wordt aan de ingang van de versterkbuis, d.w.z. tussen roos-



Principeschema van een triode met anodeweerstand Ra. De anodespanning Va wordt nu $Va = Vb - Ia \times Ra$.

Fig. 8

ter en kathode een wisselspanning door middel van een toongenerator (bijv. G.M. 2307) toegevoerd. De spanning over de weerstand Ra wordt



Meetopstelling voor het meten van de spanningsversterking van een triode.

Fig. 9

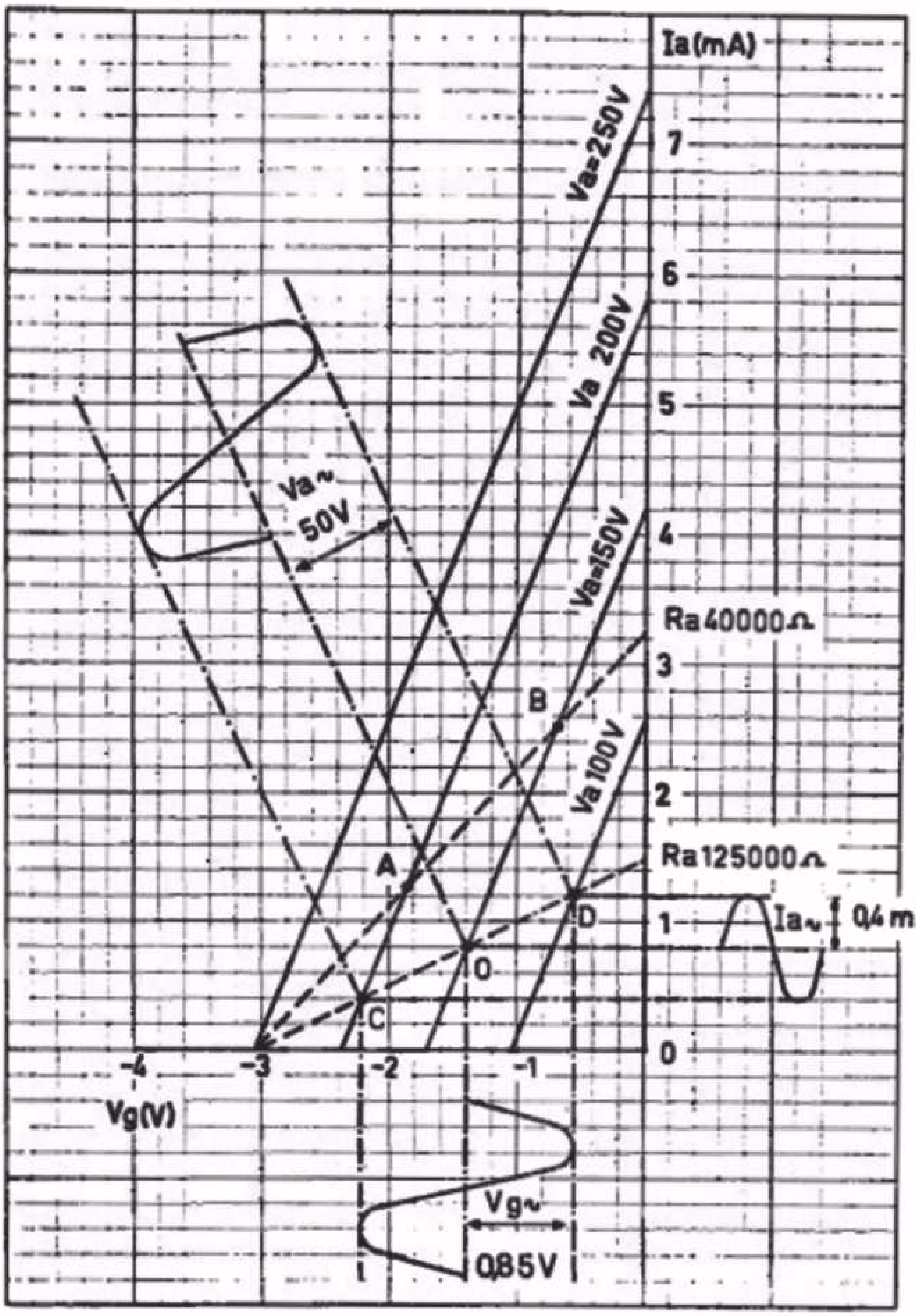
aan een electronische voltmeter, type GM 3132 of GM 6005, toegevoerd. Voor de triode kan men b.v. het triodegedeelte van de EBC 41 gebruiken. Als de toongenerator een wisselspanning van 0,1 Veff aan het rooster toevoert, zal men op de electronische voltmeter een spanning van ca. 4,5 Veff aflezen. De versterking van de buis is dus gelijk aan $\frac{4,5}{0,1} = 45$. De versterkingsfactor van de buis EBC 41 is 70. Er is dus een merkbaar verschil tussen de verkregen versterking en de grootte van de versterkingsfactor. Om de oorzaak van dit verschil na te gaan, grijpen wij weer terug naar het schema van fig. 8.

Beschouwen wij eerst in dit schema de gelijkstroom en de gelijkspanning van de buis. Door de buis vloeit een anodegelijkstroom, die ook door de weerstand Ra loopt. In deze weerstand ontstaat dus een spanningsverlies gelijk aan Ia x Ra. De polariteit van deze spanning is tegengesteld aan die van de anodebatterij Vb, zodat de spanning op de anode van de buis ten opzichte van de kathode gelijk is aan de batterijspanning Vb verminderd met het spanningsverlies over de weerstand Ra. De anodespanning wordt dus:

$$Va = Vb - Ia \times Ra.$$

De karakteristieken in fig.4 waren echter opgenomen zonder enige weerstand in de anodeleiding. Wij noemen dit de statische karakteristieken. De karakteristiek voor 250 V behoorde dus bij een voedingsspanning van 250 V.

De situatie verandert echter, door het opnemen van de anodeweerstand Ra. De anodespanning is nu afhankelijk van de grootte van de anodeweerstand Ra en van de anodestroom bij een bepaalde waarde van de voedingsspanning. Dit heeft tot gevolg, dat de Ia/Vg-karakteristieken anders gaan lopen voor het schema van fig.8. Om te laten zien, hoe het nieuwe verloop van deze karakteristieken is, hebben wij in fig. 10 de statische Ia/Vg-karakteristieken nogmaals getekend, echter in geïdealiseerde vorm, d.w.z. de onderste bocht is uit deze karakteristieken weggelaten, zodat wij hen zuiver recht hebben getekend. Wij hebben daarin tevens de nieuwe Ia/Vg-karakteristieken (men noemt deze de dynamische Ia/Vg-karakteristieken) voor anodeweerstanden van 40.000 Ohm en 125.000 Ohm getekend. Bij een voedingsspanning van 250 V hebben deze lijnen één punt gemeen, n.l. het afknijppunt, waarbij de anodestroom tot 0 is teruggebracht. Als er geen anodestroom loopt, zal er immers ook geen spanningsver-



Geidealiseerde statische Ia/Vg-karakteristieken (van fig.4) met de dynamische Ia/Vg-karakteristieken voor Ra = 40.000 Ohm en Ra = 125.000 Ohm.

Fig. 10

lies in de weerstand ontstaan, zodat dan de anodespanning gelijk wordt aan de batterijspanning. Zodra echter stroom loopt, ontstaat er spanningsverlies over de weerstand Ra en zal de anodespanning dus minder zijn. Zo komt punt A overeen met een anodestroom van 1,25 mA. Deze stroom verwekt over de anodeweerstand van 40.000 Ohm een spanning van 50 V, zodat de anodespanning 250 - 50 = 200 V bedraagt. Punt A moet dus tevens op de statische karakteristiek voor 200 V liggen. Zo kan men ook punt B construeren en de totale dynamische karakteristiek voor een voedingsspanning van 250 V trekken. Men ziet onmiddellijk uit de figuur, dat de steilheid van deze nieuwe karakteristiek aanzienlijk kleiner is dan die van de overeenkomstige statische karakteristiek. [x] (zie volg. blz.)

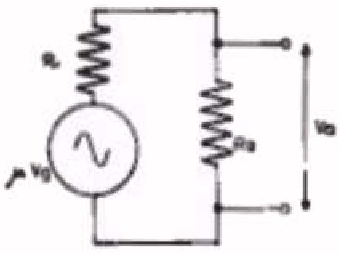
Nu gaat het erom, om wisselspanningen te versterken. Op het rooster van de buis komt dus een wisselspanning en nu zal de anodestroom variëren, afhankelijk van de verandering van de roosterspanning. In

fig. 10 hebben wij dit uitgevoerd voor een roosterspanningsverandering met een amplitude van 0,85 V. Deze variatie speelt zich af om de vaste waarde van de roosterspanning van -1,4 V. De amplitudewaarden van de totale roosterspanning worden dus -1,4 − 0,85 = 0,55V en - 1,4 +0,85 = -2,25 V. Met deze amplitudewaarden van de roosterspanning komen de amplitudewaarden van de anodestroom van 1,2 mA en 0,4 mA overeen, terwijl de anoderuststroom, behorende bij de roosterspanning van -1,4 V, 0,8 mA bedraagt. De amplitude van de anodestroomverandering bedraagt dus 0,4 mA. Deze anodestroomverandering veroorzaakt over de anodeweerstand van 125.000 Ohm een wisselspanning met een amplitude van $\frac{0,4}{1000}$ x 125.000 = 50 V. Dit ziet men ook in de karakteristiek. Het rustpunt 0 (men noemt dit ook wel het werkpunt) ligt op de statische karakteristiek van 150 V. De punten C en D, behorende bij de amplitudewaarden van roosterspanning en anodestroom, liggen op de statische karakteristieken van 200 V en 100 V. Hieruit ziet men, dat er een anodespanningsverandering optreedt van 50 V. De versterking wordt nu $\frac{50}{0,85}$ = 58,5 x.

In fig. 10 ziet U beneden aan de figuur de roosterwisselspanning afgebeeld, rechts is de anodewisselstroom getekend en links bovenaan de figuur de anodewisselspanning.

Men kan het gedrag van de versterkbuis ook nog op een andere wijze bekijken. Hiertoe hebben wij het schema van fig. 8 op een andere wijze getekend in fig. 11. Daarin is de buis vervangen door een spanningsgenerator met een EMK gelijk aan μ x Vg met een inwendige weerstand Ri en een uitwendige weerstand Ra. Wij hebben dus nu een wisselspanningsgenerator gekregen, waarover een serieschakeling van Ri en Ra staat. Over de weerstand Ra zal dus een wisselspanning Vo ontstaan, die gelijk is aan:

$$Vo = \frac{Ra}{Ri + Ra} \times \mu \times Vg.$$



Vervangingsschema van een radiobuis als versterker. De radiobuis wordt hierin voorgesteld als een spanningsgenerator met een EMK van μ x Vg en een inwendige weerstand Ri waarop de weerstand Ra is aangesloten.

Fig. 11

---

x) Men kan bewijzen, dat de dynamische steilheid Sd gelijk is aan

$$Sd = S \frac{Ri}{Ri + Ra}$$

Dit toegepast op de karakteristiek van fig. 10 wordt:

$$Sd = 2,5 \frac{31.000}{31.000 + 40.000} = 1,1 \text{ mA/V}$$

Uit de dynamische karakteristiek voor een anodeweerstand van 40.000 Ohm blijkt inderdaad, dat de dynamische steilheid deze waarde heeft (3,4 mA anodestroom bij 3,2 V roosterspanning). Zo wordt de dynamische steilheid voor een anodeweerstand van 125.000 Ohm gelijk aan:

$$Sd = 2,5 \frac{31.000}{31.000 + 125.000} = 0,5 \text{ mA/V}$$

De versterk'ng wordt dus gelijk aan

$$G = \frac{Vo}{Vg} = \frac{Ra}{Ri + Ra} \times \mu.$$

Vullen wij hierin weer de waarden van het vorige voorbeeld, dan verkrijgen wij:

$$G = \frac{125.000}{31.000 + 125.000} \times 70 = 56.$$

(Wij vonden uit de karakteristieken van fig.10 een versterking van 58,5. Het verschil met 56 wordt veroorzaakt door het feit dat de karakteristieken in fig.10 geïdealiseerd zijn).
Uit bovenstaande formule kunnen wij nog de volgende conclusie trekken: De versterking zal des te groter zijn naarmate de breuk de waarde 1 meer nadert, d.w.z. naarmate Ra groter is dan Ri. Een grotere anodeweerstand Ra betekent echter ook een groter spanningsverlies, waardoor minder spanning op de anode van de buis ten opzichte van de kathode terecht komt. Bij een bepaalde voedingsspanning van b.v. 250 V is men uit deze overweging begrensd in de keuze van Ra. Men zou natuurlijk de voedingsspanning Vb kunnen verhogen, zodat zelfs met een grotere waarde van Ra een voldoende anodespanning overblijft. Dit heeft echter tot gevolg, dat het voedingsgedeelte van het ontvangtoestel voor een hogere spanning berekend moet zijn. Dit betekent een duurdere nettransformator en duurdere afvlakcondensatoren. Dit heeft tot gevolg, dat men een compromis sluit tussen de beschikbare voedingsspanning en de verkrijgbare versterking. Een gebruikelijke waarde voor de anodeweerstand van een triode is ca. 0,1 Megohm.

Hoewel men met behulp van de karakteristieken van de buis nauwkeurig kan bepalen hoe groot de versterking bij een bepaalde anodeweerstand is, maakt men in het algemeen gebruik van de gegevens, die de buizenfabrikanten publiceren. Zo is de publicatie van de triodegedeelten van de EBC 41 en de UBC 41 als volgt:

Type	Voedingsspanning (Volt)	Anodeweerstand (Megohm)	Versterking	Anodestroom (mA)
EBC 41	250	0,1	43	1,15
UBC 41	170	0,1	37	0,45

SAMENVATTING

1. Een triode is een drie-electrodenbuis, waarbij tussen kathode en anode een stuurrooster is aangebracht.

2. De anodestroom kan worden gevariëerd door een variërende spanning tussen rooster en kathode aan te leggen.

3. Het gedrag van de triode wordt hoofdzakelijk bepaald door drie karakteristieke grootheden.
   a. De inwendige weerstand Ri

   $$Ri = \frac{\Delta Va}{\Delta Ia} \quad \text{(bij een vaste roosterspanning)}$$

   b. De steilheid S

   $$S = \frac{\Delta Ia}{\Delta Vg} \quad \text{(bij een vaste anodespanning)}$$

   c. De versterkingsfactor μ

   $$\mu = \frac{\Delta Va}{\Delta Vg} \quad \text{(bij een vaste anodestroom)}$$

4. Tussen deze drie grootheden bestaat een vast verband, dat bekend is als de wet van Barkhausen:

   $$\mu = Ri \times S$$

5. De Ia/Vg- en Ia/Va-karakteristieken van een radiobuis geven het verband weer van de anodestroom en roosterspanning resp. anodespanning.

6 Zodra in de anodeleiding van een triode een weerstand wordt opgenomen, kan niet meer de z.g. statische karakteristiek worden gebruikt. In dit geval moet men gebruik maken van de dynamische karakteristiek, waarvan de steilheid Sd gelijk is aan:

   $$Sd = S \frac{Ri}{Ri + Ra}$$

7. De triode wordt o.a. gebruikt voor het versterken van wisselspanningen. De versterking G is dan gelijk aan:

   $$G = \frac{Ra}{Ri + Ra} \mu$$

8. Als versterker kan men de buis beschouwen als een spanningsgenerator, waarvan de EMK gelijk is aan μ Vg, waarop is aangesloten de serieschakeling van de inwendige weerstand Ri en de uitwendige belastingsweerstand Ra.

VRAGEN EN VRAAGSTUKKEN

1. Leid uit nevenstaande Ia/Vg-karakteristieken de drie grootheden S, Ri en μ van de betreffende triode af.

2. Hoe groot wordt de dynamische steilheid van de buis uit vraag 1, als de uitwendige belastingsweerstand 50.000 Ohm is? De voedingsspanning Vb is 250 V.

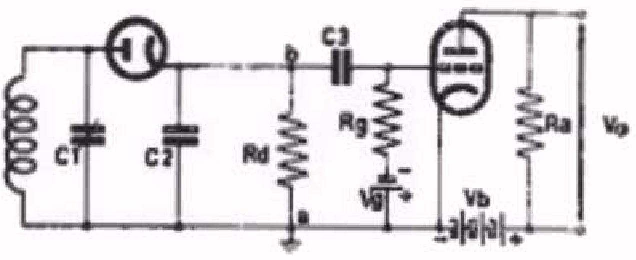
3. Hoe groot wordt de versterking van deze buis met Ra = 50.000 Ohm?

4. Van een radiobuis met een steilheid van 5 mA/V verandert de roosterspanning 2 V. Hoeveel verandert de anodestroom?

5. Als in fig.3 van deze les R1 = 50.000 Ohm en R2 = 100.000 Ohm is, terwijl de batterijspanning 15 V is, welke spanning staat dan tussen de punten a en b en hoe is de polariteit van deze spanning?

68. L.F. versterking

Met de meetopstelling van fig. 10 in les 14 hebben wij de versterkende werking van een triode gedemonstreerd. Vervangen wij nu in dit schema de toongenerator door de diodedetector, waarvan het schema in fig. 12a (les 13) is afgebeeld, dan ontstaat fig. 1. De diodedetector levert immers de L.F. wisselspanning die als modulatie op de gemoduleerde draaggolf aanwezig is. In fig. 1 is nu de detector gekoppeld met de versterker-triode.



Principeschema van de detectortrap die door middel van de condensator C3 gekoppeld is met de LF versterktrap.

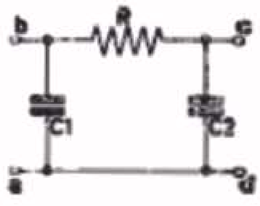
Fig. 1

Wij zullen nu eerst eens deze figuur onder de loupe nemen en nagaan welke practische verbeteringen kunnen worden aangebracht, resp. welke waarden de verschillende onderdelen moeten hebben.

A. De Koppeling

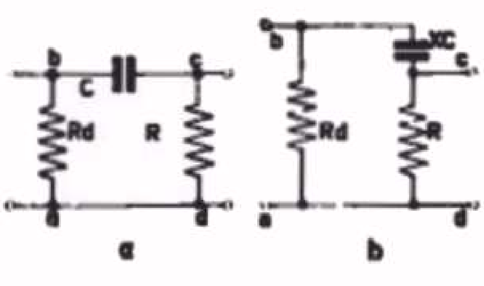
Over de diodebelastingsweerstand Rd en de diodecondensator C2 ontstaat een gelijkspanning, waarvan de grootte afhankelijk is van de sterkte van de H.F. spanning over de kring en een L.F. wisselspanning, waarvan de amplitude afhankelijk is van de sterkte van het H.F. signaal en de modulatiediepte. (Zie les 11). Het gaat er nu om, om het L.F signaal door te geven aan het rooster van de volgende versterker-triode.

Wij hebben dus over de klemmen a en b een combinatie van een gelijkspanning en een wisselspanning, waarvan wij alleen de wisselspanning willen overhouden. Wij hebben hier eigenlijk het omgekeerde van de samenstelling van het afvlakfilter, dat in les 13 is behandeld. Dit afvlakfilter met een weerstand is nog eens in fig. 2 afgebeeld. Hierbij hebben wij aan de ingangsklemmen van het filter eveneens een combinatie van een gelijkspanning en een wisselspanning. Het verschil ten opzichte van de bovengenoemde koppeling is, dat in het afvlakfilter de gelijkspanning moet worden doorgegeven, de wisselspanning echter niet.



Afvlakfilter met weerstand.

Fig. 2



a. Weerstandskoppeling. Aan de klemmen ab staat een gelijkspanning + de LF wisselspanning, aan de klemmen cd blijft alleen de wisselspanning over.

b. Fig. 3a op een andere wijze getekend, zodat de wisselspanningsdeling door de koppelcondensator en lekweerstand duidelijker uitkomt.

Fig. 3

Tekenen wij nu de koppeling apart, dan ontstaat fig. 3a. Over de klemmen a en b staat dus de combinatie van gelijk- en wisselspanning. Over de klemmen c en d willen wij alleen de wisselspanning overhouden. De condensator C blokkeert de gelijkstroom, zodat aan c en d geen gelijkspanning zal ontstaan. Het hangt nu van de wisselstroomweerstand van de condensator C en de weerstand R af, hoeveel L.F. wisselspanning over de weerstand R zal komen te staan. Het zal duidelijk zijn, dat men er naar zal streven om de wisselspanning over R zo groot mogelijk te houden.

Tekenen wij fig. 3a op een iets andere wijze, dan ontstaat fig. 3b. Hierin zien wij duidelijk de potentiometerwerking van de reactantie X_C en R. De verhouding van de uitgangsspanning E2 tot de ingangsspanning E1 zal bij benadering zijn:

$$\frac{E2}{E1} = \frac{R}{R + X_C}$$

Zorgen wij er nu voor, dat X_C klein is vergeleken bij R, dan kan men in bovenstaande breuk X_C ten opzichte van R verwaarlozen en nadert de breuk de waarde 1.
Nu is de reactantie van de condensator gelijk aan:

$$X_C = \frac{1}{6,28\ fC}$$

De L.F. spanningen kunnen een frequentie hebben van 30-10.000 Hz. Wil men bij de laagste frequentie nog practisch geen verzwakking van de wisselspanning hebben, dan moet de reactantie X_C voor een frequentie van 30 Hz nog klein zijn ten opzichte van de weerstand R, die gewoonlijk een waarde heeft van ca. 1 Megohm. Voor een capaciteit van 10.000 pF wordt X_C gelijk aan:

$$X_C = \frac{1}{6,28 \times 30 \times \frac{10.000}{1.000.000}} = \text{ca. } \frac{10.000.000}{20} = 500.000 \text{ Ohm} = 0,5 \text{ Megohm.}$$

Voor de hogere frequenties wordt de reactantie steeds kleiner en de spanningsdeling steeds gunstiger. Voor een frequentie van 100 Hz wordt de reactantie b.v. ca. 0,15 Megohm, hetgeen ten opzichte van de weerstand van 1 Megohm reeds aanzienlijk minder verzwakking betekent.

Uit bovenstaand rekenvoorbeeld blijkt, dat de waarde van C van 10.000 pF te klein is om een merkbare verzwakking van de wisselspanning te voorkomen. Men zou in dit geval een capaciteit van minstens 50.000 pF willen hebben. De oplossing kan echter eveneens worden gezocht in een grotere waarde van de weerstand R. Deze is echter beperkt door de voorschriften van de buizenfabrikant. Voor de EBC 41 is b.v. een maximale waarde van 3 Megohm toegestaan.

B. De anodevoeding

Wij hebben tot nu toe voor de voeding van de anode een batterij getekend. Dit is inderdaad het geval in een batterij-ontvanger, in ontvangtoestellen voor netvoeding betrekt men de positieve spanning van het gelijkrichtergedeelte dat in les 13 is behandeld (b.v. de spanning + Vb1 in fig. 9).

C. Negatieve roosterspanning

Elke versterkbuis heeft een bepaalde negatieve roosterspanning nodig, zodat zelfs bij de grootste amplitude van de wisselspanning het rooster nog negatief blijft ten opzichte van de kathode. Als het rooster positief zou worden, zou roosterstroom lopen, hetgeen vervorming tot gevolg heeft (wij komen hierop nog later terug). Het verkrijgen van de negatieve roosterspanning geschiedt practisch altijd door middel van een weerstand. Men heeft hiervoor 2 oplossingen:

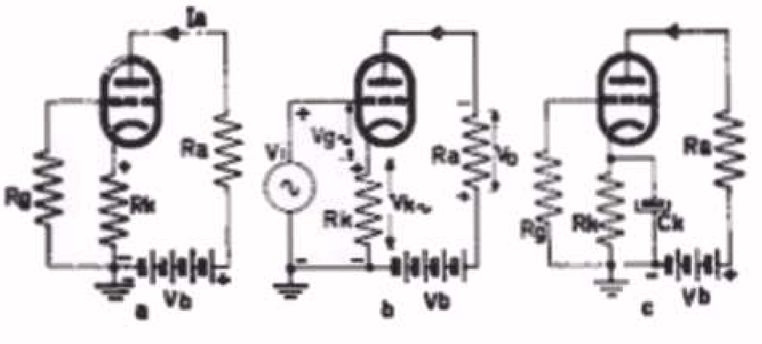


Fig. 4

a. Schema van een versterkbuis met kathodeweerstand, ter illustratie van het ontstaan van de negatieve roosterspanning over deze weerstand.
b. Hetzelfde schema, nu echter met een wisselspanning aan de ingang van de buis. Over de kathodeweerstand Rk ontstaat nu een wisselspanning Vk~, die in tegenfase is met de ingangswisselspanning Vi.
c. Het schema van fig. 4a, waarin parallel aan de kathodeweerstand Rk een ontkoppelcondensator Ck is geschakeld.

1. door middel van een weerstand in de kathodeleiding (kathodeweerstand).

Hiervoor gaan wij uit van fig. 4a, waarin de situatie getekend is zonder een wisselspanning op het rooster. In de kathodeleiding is een weerstand Rk opgenomen. De anodestroom loopt nu vanaf de +pool van de batterij Vb, door de anodeweerstand Ra, de buis en tenslotte via de kathodeweerstand Rk terug naar de -pool van de anodebatterij. Uit deze stroomloop zien wij, dat over de weerstand Rk een zodanige spanning ontstaat, dat de kathode positief is ten opzichte van de onderzijde van de weerstand Rk, waarmede het rooster via de weerstand Rg is verbonden. De kathode is dus positief ten opzichte van het rooster of hetgeen op hetzelfde neerkomt, het rooster is negatief ten opzichte van de kathode. De waarde van de weerstand Rk moet nu zó zijn, dat de anodestroom Ia x de weerstand Rk gelijk is aan de negatieve roosterspanning Vg. Voor Vg = -2V en Ia = 1 mA moet de kathodeweerstand dus gelijk zijn aan:

$$Rk = \frac{Vg}{Ia} = \frac{2}{0,001} = 2000 \text{ Ohm.}$$

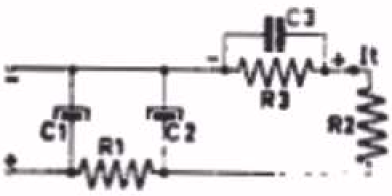
Zodra echter een wisselspanning op het rooster aanwezig is, waardoor dus een anodewisselstroom ontstaat, komt hier nog een effect bij. Behalve een gelijkspanning ontstaat nu over de weerstand Rk ook een wisselspanning Vk~, die in tegenfaze blijkt te zijn met de ingangswisselspanning Vi (zie fig. 4b). Nemen wij aan dat de wisselspanning Vi juist in haar positieve faze is, dan treedt een anodestroomvergroting op, waardoor een spanningsvergroting over Rk ontstaat. Uit fig. 4b blijkt nu, dat de spanningen Vi en Vk~ tegengesteld in faze zijn, zodat het verschil van deze twee spanningen tussen rooster en kathode komt te staan. Deze spanning, Vg~, is de sturende spanning van de electronenstroom van de kathode naar de anode en blijkt dus hier kleiner te zijn dan de toegevoerde wisselspanning Vi. Willen we dit effect vermijden, dan moeten we Rk voor de wisselstroom als het ware kortsluiten. We zeggen ook wel: Rk

voor de wisselstroom ontkoppelen. Dit geschiedt door parallelschakeling van een condensator aan Rk (fig. 4c). De gelijkstroominstelling (dus de negatieve roosterspanning) wordt hierdoor niet beinvloed. Deze condensator (ontkoppelcondensator genoemd) moet een zodanige waarde hebben, dat zijn reactantie voor het gehele L.F. gebied klein is ten opzichte van de weerstand Rk. x)
De reactantie van de condensator zal het grootst zijn voor de laagste frequentie. Wil aan de voorwaarde van kleine reactantie ten opzichte van Rk voldaan worden, dan moet men dus rekening houden met de laagste frequentie. Nemen wij als voorbeeld een kathodeweerstand van 1600 Ohm en een ontkoppelcondensator van 25 µF. Voor 30 Hz heeft deze condensator een reactantie van ca. 200 Ohm. Zoals men ziet, is deze waarde reeds klein ten opzichte van die van Rk (1600 Ohm). Voor elke hogere frequentie wordt dit bovendien gunstiger.

Door de ontkoppeling van de kathodeweerstand Rk komt nu de ingangswisselspanning in haar geheel tussen rooster en kathode terecht.

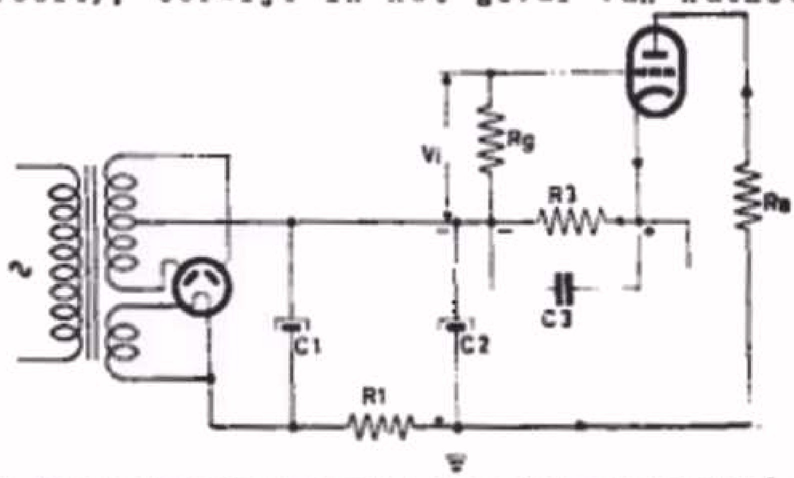
2. Door middel van een weerstand in de gemeenschappelijke minleiding.

In fig. 10 van les 13 werd het voedingsgedeelte van het ontvangtoestel getekend. De gelijkstroom loopt hierin van de + pool van het voedingsgedeelte door de weerstand R, die de stroomafnemende buizen voorstelt, en daarna door de minleiding terug naar de gelijkrichter. Een veel toegepaste methode voor het opwekken van de negatieve roosterspanning is het schakelen van een weerstand in de minleiding (fig. 5). Hierin stelt R2 de belastingsweerstand voor en R3 een extra weerstand voor de negatieve roosterspanning. De grootte van deze weerstand wordt nu bepaald door de vereiste negatieve roosterspanning en de stroom die in deze minleiding vloeit. Dit is de totale stroom van alle ontvangbuizen in het ontvangtoestel. Ook deze weerstand wordt ontkoppeld door middel van een condensator, opdat over deze weerstand geen wisselspanning ontstaat. Deze oplossing heeft het voordeel, dat men met 1 of 2 weerstanden kan volstaan (afhankelijk van het feit, of men 2 verschillende roosterspanningen nodig heeft), terwijl in het geval van kathodeweerstanden elke buis haar



Detail van het schema van het voedingsgedeelte, waarbij in de minleiding een weerstand R3 is opgenomen, voor het verkrijgen van de negatieve roosterspanning. R1 is de afvlakweerstand, R2 de vervangingsweerstand van de stroomverbruikende buizen.

Fig. 5



Het complete schema van het voedingsgedeelte + een versterkbuis, waarvoor de negatieve roosterspanning van de weerstand R3 in de minleiding betrokken wordt.

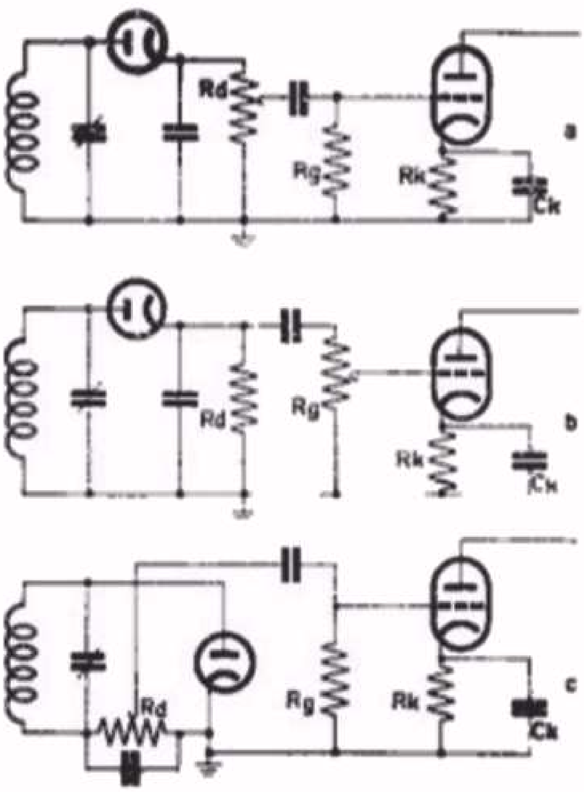
Fig.6

x) In vele ontvangapparaten is de kathodeweerstand niet ontkoppeld door een condensator. Men verkrijgt hierdoor zgn. tegenkoppeling waarop wij in latere schemabeschrijvingen nog uitvoerig zullen terugkomen.

eigen weerstand moet bezitten plus de daarbij behorende ontkoppelcondensator. De oplossing van de weerstand in de kathodeleiding is dus veel oneconomischer. In fig. 6 is volledigheidshalve het complete schema van het voedingsgedeelte getekend met een versterkbuis, waarbij de negatieve roosterspanning wordt betrokken van de weerstand R3 in de minleiding.

D. Volumeregeling

De L.F. wisselspanning die over de diodebelastingsweerstand Rd staat, hebben wij in het schema fig. 1 onverzwakt aan het rooster van de versterker-triode toegevoerd. Men wil echter in het ontvangtoestel gaarne beschikken over een regeling van de geluidssterkte. Deze geluidssterkte is afhankelijk van de L.F. wisselspanning, zodat de sterkteregeling of volumeregeling neerkomt op een regeling van deze wisselspanning. Men kan deze regeling zeer eenvoudig realiseren door de weerstand Rd als een potentiometer uit te voeren (fig. 7a).



a. Detectortrap + volgende LF versterkbuis. De diode belastingsweerstand Rd is als potentiometer uitgevoerd, waarmede de geluidssterkteregeling wordt verkregen.

b. Hetzelfde schema, waarin nu echter de lekweerstand Rg van de versterkbuis als geluidssterkteregelaar wordt gebruikt.

c. Het schema van fig. 7a op een zodanige wijze geschakeld, dat de kathode van de diode is geaard.

Fig. 7

Door de loper van deze potentiometer meer omlaag te brengen, takt men minder spanning af en brengt men dus minder wisselspanning op het rooster van de volgende buis.

Een andere oplossing is de lekweerstand van de volgende buis, Rg, als potentiometer uit te voeren. Het schema wordt dan als in fig. 7b.

Men gebruikt hiervoor meestal een logarithmische potentiometer (zie les 2, par. 11).

69. Eindversterking

Wij hebben in de voorgaande les gezien, dat over de weerstand Ra in fig. 1, een versterkte wisselspanning te voorschijn komt. In het practische voorbeeld op blz. 11 van les 14 bedroeg de anodewisselstroom 0,4 mA (amplitude-waarde). In de weerstand Ra wordt dus een wisselstroom vermogen opgewekt, gelijk aan I^2R. Vullen wij hierin

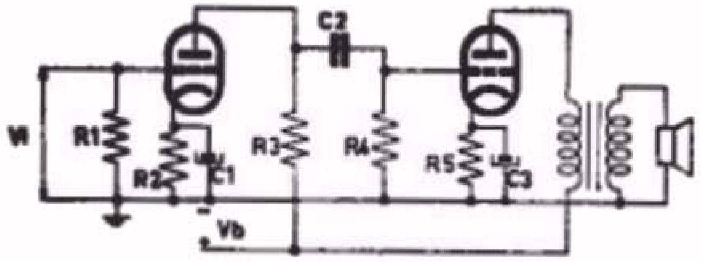
de getallen van de voorgaande les in, dan komen wij tot een vermogen van

$$W = \frac{0,4}{1,4 \times 1000} \times \frac{0,4}{1,4 \times 1000} \times 100.000 = \frac{8}{1000}\ W = 8\ mW$$

Voor de stroom hebben wij hierin de effectieve waarde ($\frac{0,4}{1,4}$ mA) moeten invullen. Dit vermogen is weliswaar voldoende om enige koptelefoons te laten werken, echter onvoldoende om een luidspreker aan te drijven. Voor een luidspreker heeft men minstens een vermogen van ca. 0,5 W = 500 mW nodig. Daarom schakelt men achter de L.F. versterkbuis een zgn. eindbuis, die de eigenschap heeft de vereiste energie aan de luidspreker te kunnen leveren. Deze buis werkt met een hogere anodespanning, en tevens met een grotere anodestroom, zodat aan een weerstand in de anodeleiding het vereiste vermogen kan worden geleverd. De koppeling met deze buis geschiedt meestal op dezelfde wijze als die met de diodedetectortrap, d.w.z. door middel van een condensator en weerstand (zie fig. 8). Voor de keuze van de condensator en de daaropvolgende roosterlekweerstand geldt weer dezelfde redenering als bij de koppeling met de voorgaande buis. De reactantie van de koppelcondensator moet dus weer klein zijn ten opzichte van de lekweerstand.

Er bestaat echter nog een verschil ten opzichte van de koppelcondensator met de detectortrap.

De koppelcondensator achter de L.F. versterkbuis is via de anodeweerstand van deze buis met de positieve spanning van het voedingsgedeelte verbonden. Dit heeft tot gevolg dat aan de lekverliezen van deze condensator (parallelweerstand) hogere eisen worden gesteld. Als de condensator met het rooster van de volgende buis wordt gekoppeld, zal dit rooster via de lekweg van deze condensator positief worden opgeladen. Dit uit zich in vervorming en als de lek zeer groot is, zal dit zelfs tot een defect geraken van de buis kunnen leiden. Ingeval een ontvangtoestel klachten geeft over vervorming en deze vervorming wordt merkbaar sterker bij een groter geluidsvolume, kan dit door een defecte ontkoppelcondensator worden veroorzaakt. De eindbuis moet eveneens een negatieve roosterspanning hebben, die men weer kan betrekken door middel van een kathodeweerstand of een weerstand in de minleiding.



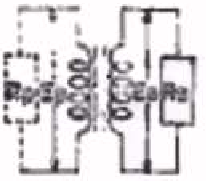
Schema van een LF versterkbuis met de daarop volgende eindbuis, waaraan de luidspreker via een transformator is gekoppeld.

Fig. 8

Als practisch voorbeeld zij vermeld, dat een bepaalde eindtriode bij een spanning van 250 V op de anode, een anodestroom trekt van 33 mA. Bij een anodewisselstroom van ca. 20 mA effectief en een anodeweerstand (in de vorm van een luidspreker) van 3500 Ohm, wordt een vermogen van 1,5 W geleverd.

70. Aanpassing

Nu worden tegenwoordig bijna uitsluitend electrodynamische luidsprekers gebruikt. De wisselstroomweerstand van een dergelijke luidspreker is, afhankelijk van het type, 5-40 Ohm. Voor een zo gunstig mogelijk rendement en energieafgifte door de eindbuis, moet de belastingsweerstand in de anodeleiding een bepaalde waarde hebben, die door de buizenfabrikant steeds wordt gepubliceerd. Deze waarde ligt, afhankelijk van het type eindbuis, in de grootte orde van 3000-10.000 Ohm. Hieraan voldoet de weerstand van de electrodynamische luidspreker zelf allerminst. Het is daarom nodig, de weerstand van de luidspreker tot de gewenste waarde (de zgn. aanpassingsweerstand) te transformeren, hetgeen men met behulp van een transformator kan doen. Wij zullen dit aan de hand van fig. 9 bekijken.



Principeschema van een transformator met een weerstand Rs over de secundaire wikkeling. Men kan de transformator weerstand Rs vervangen denken door een weerstand Rp over de primaire wikkeling, die gelijk is aan:

$$Rp = n^2 Rs$$

Fig. 9

In deze figuur is het principeschema van een transformator weergegeven, waarbij aan de secundaire zijde een weerstand Rs is geschakeld. Aan de transformator wordt een wisselspanning Ep toegevoerd, de secundaire spanning is Es. De transformatieverhouding is gelijk aan n; (zie les 7, par. 37).

$$\frac{Ep}{Es} = \frac{n}{1}$$

Aan de weerstand Rs wordt een vermogen geleverd, gelijk aan $\frac{Es^2}{Rs}$. Dit vermogen moet aan de primaire zijde worden toegevoerd. Wij veronderstellen nu, dat de transformator ideaal is, dus verlies vrij werkt. Wij kunnen nu de transformator plus de weerstand Rs vervangen denken door een weerstand Rp. De waarde van Rp moet nu zo groot zijn, dat hieraan, door de primaire spanning Ep, hetzelfde vermogen ($= \frac{Es^2}{Rs}$) wordt toegevoerd. Dit vermogen is dus ook gelijk aan $\frac{Ep^2}{Rp}$. We krijgen dus:

$$\frac{Es^2}{Rs} = \frac{Ep^2}{Rp}$$

Hiervoor kunnen wij ook schrijven: $\frac{Rp}{Rs} = \frac{Ep^2}{Es^2} = n^2$ of $n = \sqrt{\frac{Rp}{Rs}}$.

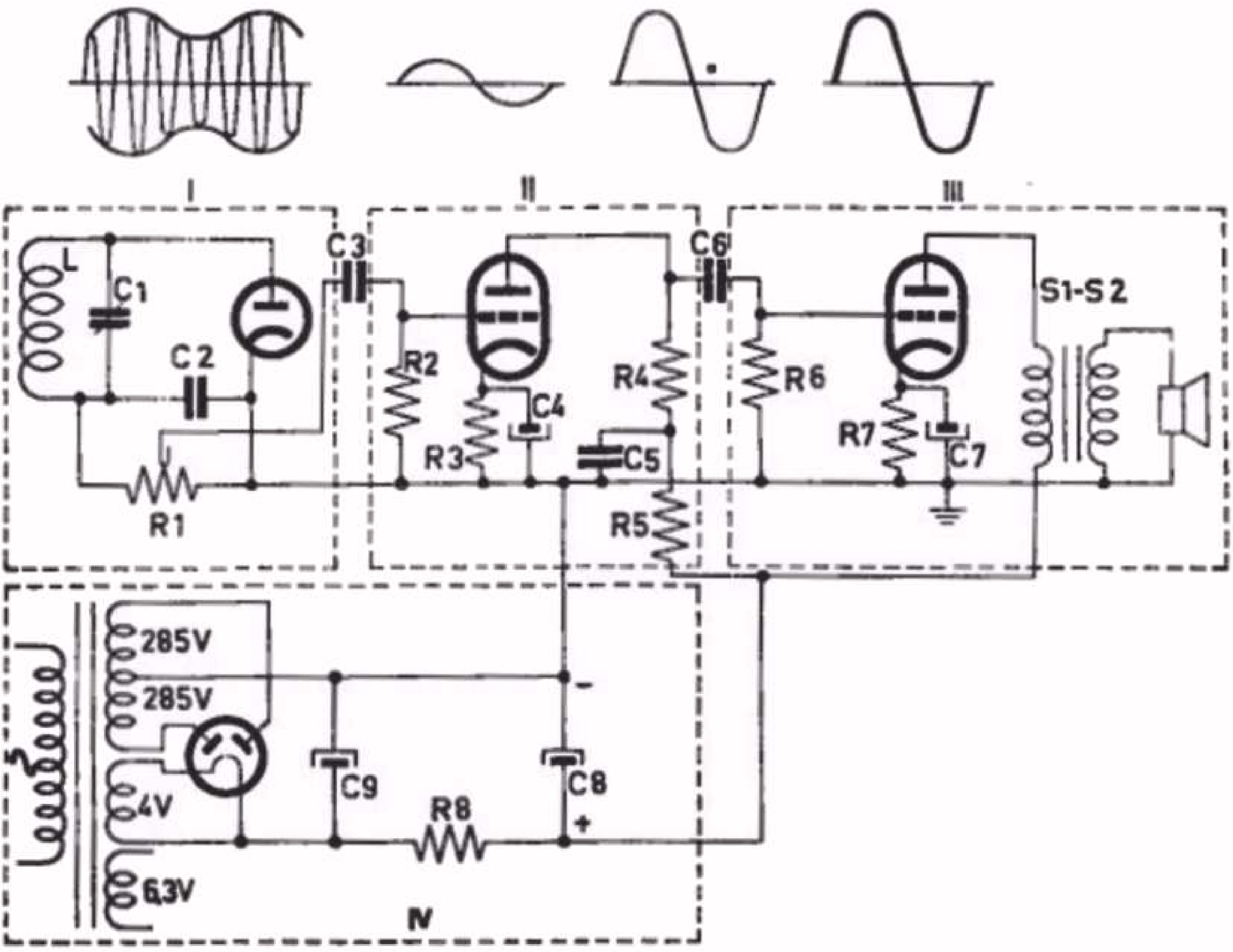
De transformatieverhouding van de luidsprekertransformator is dus gelijk aan de wortel van de verhouding van de aanpassingsweerstand van de eindbuis en de luidsprekerweerstand. Op een apart blad in deze les zijn in tabelvorm de quadraten van de getallen 1 - 100 opgenomen. Indien men de wortel uit een bepaald getal wil hebben, zoekt men het naastbijliggende getal in de tweede kolom op; het getal in de eerste kolom geeft dan de wortel uit het getal van de tweede kolom.

Moet b.v. van een triode eindbuis de anodeweerstand 3500 Ohm zijn en bedraagt de weerstand van de electrodynamische luidspreker 5 Ohm, dan kunnen wij uit bovenstaande formule de wikkelingverhouding van de transformator (men noemt deze de aanpassingstransforma-

tor of luidsprekertransformator) berekenen. Voor deze getallen wordt de transformatieverhouding

$$n = \sqrt{\frac{3500}{5}} = \sqrt{700} = \text{ca. } 26.5.$$

Uit het bovenstaande bleek, dat het vermogen des te groter wordt naarmate de anodewisselstroom en de anodewisselspanning groter zijn. Bij een bepaalde eindbuis zou men dus kunnen zeggen, dat de instelling d.w.z. de keuze van de anodestroom, zo groot mogelijk genomen moet worden waardoor men ook een groter vermogen kan verkrijgen. Dit gaat echter niet op! Voor elke buis is nl. een bepaalde maximale anodestroom bij een bepaalde anodespanning toelaatbaar. Het product van deze twee gegevens noemt men de *anodedissipatie*. Men drukt deze dissipatie uit in Watt. Heeft men b.v. een eindbuis met een anodedissipatie van 6 W, dan wil dit zeggen dat bij een anodespanning van 200 V een anodestroom van 30 mA mag lopen. Voert men dus de



Compleet schema van een ontvanger vanaf de detectortrap.
I — Detector.
II — LF versterker
III — Eindversterker + luidspreker
IV — Voedingsgedeelte.

CONDENSATOREN
C1 — max. 500 pF (afstemcondensator)
C2 — 100 pF (keramische condensator)
C3 — 10.000 pF (rolblokcondensator)
C4 — 25 µF - 12½ V (electrolytische condensator)
C5 — 50.000 pF (rolblokcondensator)
C6 — 10.000 pF (rolblokcondensator)
C7 — 50 µF - 25 V (electrolytische condensator)
C8 — 50 µF - 320 V (electrolytische condensator)
C9 — 50 µF - 320 V (electrolytische condensator)

WEERSTANDEN
R1 — 0,5 MΩ (logarithmische potentiometer)
R2 — 1 MΩ (koolweerstand)
R3 — 1600 Ω (koolweerstand)
R4 — 0,1 MΩ (koolweerstand)
R5 — 50.000 Ω (koolweerstand)
R6 — 1 MΩ (koolweerstand)
R7 — 150 Ω (koolweerstand)
R8 — 1200 Ω (draadgewonden weerstand)

Fig. 10

anodestroom op, hetgeen men kan bereiken door de negatieve roosterspanning kleiner te maken (zie fig. 4, les 14), dan zal bij dezelfde anodespanning, de anodedissipatie worden overschreden. De buis wordt dan te heet, waardoor de levensduur aanzienlijk kan worden bekort. Door een grotere anodestroom wordt de anode door veel meer electronen gebombardeerd. Dit electronen bombardement wordt in warmte omgezet, met het bovenvermelde effect.

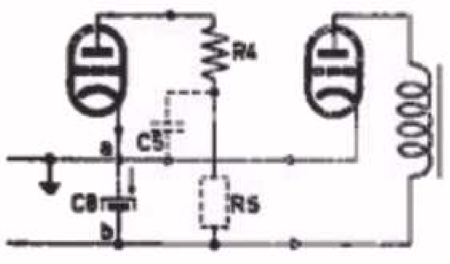
Combineren we de verschillende gedeelten die wij in les 13, 14 en deze les hebben behandeld, dan ontstaat fig. 10. Hierin is:

I = diode-detectortrap
II = L.F. versterker
III = eindversterker + luidspreker
IV = voedingsgedeelte.

Wij willen duidelijkheidshalve het schema nog even trap voor trap bekijken. Over de kring LC1 ontstaat, hetzij via een koppeling van de antenne, hetzij via een voorafgaande H.F. versterktrap, een gemoduleerde H.F. spanning, waarvan de frequentie gelijk is aan de resonantiefrequentie van de kring LC1. Door de detectie ontstaat over de weerstand R1 een gelijkspanning + een L.F. spanning. De L.F. spanning wordt via de koppelcondensator C3 aan het rooster van de L.F. versterkbuis toegevoerd. Deze buis ontvangt een negatieve roosterspanning door middel van een kathodeweerstand R3, die ontkoppeld is door de condensator C4. Over de anodeweerstand R4 ontstaat nu de versterkte L.F. wisselspanning.

In serie met de weerstand R4 is nog een weerstand R5 opgenomen, die deel uitmaakt van een ontkoppelfilter R5-C5. De functie van dit filter is tweeledig:

1) ontkoppeling van de L.F. buis en de eindbuis. Deze buizen zijn n.l. op parasitaire wijze via de wisselstroomweerstand van de afvlakcondensator C8 met elkander gekoppeld. Om dit in te zien, hebben wij in fig. 11 het L.F. gedeelte van fig. 10 op een vereenvoudigde wijze weergegeven. Hieruit ziet men, dat de wisselstromen van beide buizen door de condensator C8 lopen en hierover een spanning, zij het van geringe waarde, veroorzaken. Deze gemeenschappelijke spanning kan een voldoende oorzaak zijn, dat de L.F. versterker gaat genereren. Om deze ongewenste koppeling te voorkomen, is in de anodeleiding van de L.F. versterkbuis het filter R5-C5 opgenomen. De wisselstroomweerstand van C5 moet voor de frequenties van het L.F. gebied, klein zijn ten opzichte van de weerstand R5. Op deze wijze wordt bereikt, dat de anodewisselstroom van de L.F. buis voor het grootste gedeelte via C5 naar de minleiding terugloopt, en niet via C8.



Vereenvoudigde voorstelling van het schema van het LF gedeelte ter illustratie van de functie van het ontkoppelfilter R5 - C5.

Fig. 11

2) *vermindering van de rimpelspanning*. Het is soms uit brom-overwegingen nodig, de rimpelspanning over de laatste afvlakcondensator C8 extra af te zwakken. Hiervoor geldt de zelfde voorwaarde als voor de ontkoppeling, n.l. dat de reactantie van C5 klein moet zijn ten opzichte van R5.

In dit geval is voor C5 een waarde van 50.000 pF gekozen, voor R5 een waarde van 50.000 Ohm.

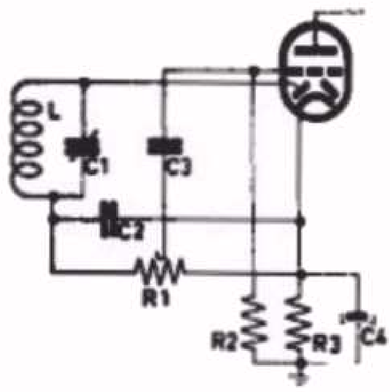
Het rooster van de eindbuis is via de koppelcondensator C6 met de anodeweerstand R4 gekoppeld. Ook de eindbuis is voorzien van een kathodeweerstand R7 met ontkoppelcondensator C7 voor de vereiste negatieve roosterspanning. De uitgangsenergie van de eindbuis wordt via de uitgangstransformator S1-S2 toegevoerd aan de luidspreker.

De voeding geschiedt uit het wisselstroomnet. De gelijkrichting is dubbelfazig, C9 is de buffercondensator en R8-C8 is het afvlakfilter. De wikkeling van 6,3 V dient voor voeding van de gloeidraden van de ontvangbuizen.

Boven aan de figuur zijn bovendien de vormen van de wisselspanningen en -stromen weergegeven.

Soms treft men in een ontvanger niet het gedeelte II aan. De eindtrap is dan rechtstreeks gekoppeld met de diodeweerstand R1, dus zonder tussenvoeging van de L.F. versterkbuis. Het is duidelijk, dat in zo'n geval de totale versterking minder is en dat voor een bepaald uitgangsvermogen meer H.F. spanning op de diode nodig is.

Wij hebben reeds meermalen de duo-diode-triode EBC 41 vermeld. Zoals de naam het reeds zegt, bevat deze buis 2 dioden en een triode. Een van deze dioden wordt gebruikt als detectordiode, de triode als L.F. versterker. Past men deze buis in het schema van fig. 10 toe, dan wordt het schemagedeelte van I + II gelijk aan fig. 12. Wij hebben hierin dezelfde weerstand- en condensatoraanduidingen gebruikt als in fig. 10, zodat men beide schema's gemakkelijk met elkander kan vergelijken. Het gebruik van de tweede diode zullen wij in één van de volgende lessen beschrijven.



Schema van de detector + LF versterker-gedeelte uit fig. 10, waarin voor de detectordiode + LF triode de combinatiebuis EBC 41 (duo - diode - triode) is gebruikt.

Fig. 12

SAMENVATTING

1. Voor de koppeling van de ene buis met de volgende buis in het LF gedeelte van een ontvanger, maakt men veel gebruik van de combinatie koppelcondensator - lekweerstand.

2. De grootte van de koppelcondensator moet zo zijn, dat zijn reactantie voor de laagste frequentie van de te versterken wisselspanning klein is ten opzichte van de volgende lekweerstand.

3. De negatieve roosterspanning van een versterkbuis wordt meestal automatisch verkregen door:
   a. een weerstand in de kathodeleiding of
   b. een weerstand in de minleiding van het voedingsgedeelte.

4. In beide bovengenoemde gevallen wordt de weerstand dikwijls overbrugd door een ontkoppelcondensator. De waarde hiervan moet zo zijn, dat zijn reactantie voor de laagste frequentie van de LF wisselspanning klein is ten opzichte van de parallelweerstand.

5. Voor de geluidsterkte-regeling maakt men gebruik van:
   a. de diode-belastingsweerstand of
   b. de lekweerstand van de LF versterkbuis.
   In beide gevallen komt in de plaats van de vaste weerstand een potentiometer.

6. De eindversterkbuis levert de nodige wisselstroomenergie aan de luidspreker.

7. De wisselstroomweerstand van de luidspreker moet zijn "aangepast" aan de aanpassingsweerstand van de eindbuis. Hiervoor maakt men gebruik van een aanpassingstransformator (of luidsprekertransformator).
   De transformatieverhouding is:

$$n = \sqrt{\frac{Rp}{Rs}}$$

8. De anodedissipatie van een radiobuis is gelijk aan het product van de anodespanning en de anodegelijkstroom.
   Dus Wa = Va x Ia.

LES 15

VRAGEN EN VRAAGSTUKKEN

1. De maximale anodedissipatie van de eindbuis EL41 bedraagt 6 W. Als de anodespanning 250 V is, hoeveel mag dan de anodegelijkstroom zijn?

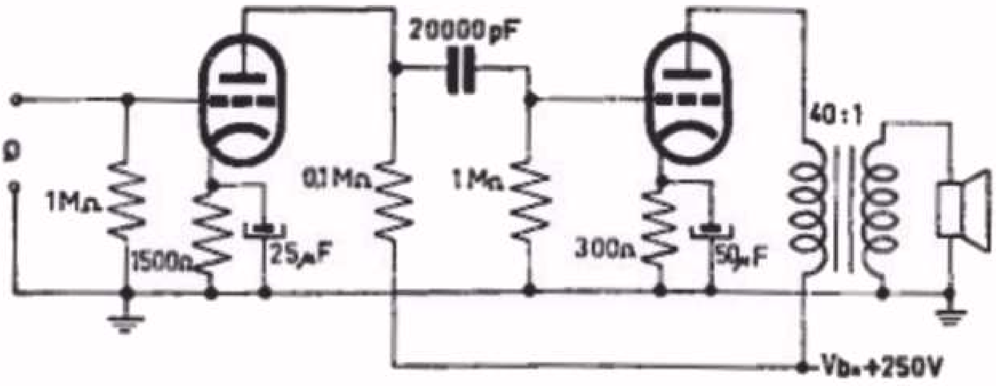
2. Bepaal de kathodeweerstand van een triode met een anodestroom van 8 mA, als de negatieve roosterspanning 4 V bedraagt.

3. De aanpassingsweerstand van de eindbuis EL41 is 7000 Ohm. De wisselstroomweerstand van het luidsprekerspoeltje is ca. 11 Ohm. Hoe groot moet de transformatieverhouding van de luidsprekertransformator zijn?

4. Aan de luidspreker wordt een vermogen van 4 W geleverd. Het luidsprekerspoeltje heeft een weerstand van 4 Ohm. Hoe groot is de wisselstroom in het spoeltje?

5. In onderstaand principe-schema van een gramofoonversterker zijn de gegevens van de eerste buis: $\mu = 25$; $R_i = 20.000$ Ohm; $R_a = 0,1$ Megohm. Op de ingang van de versterker wordt een pick-up aangesloten die een wisselspanning van 0,1 V effectief afgeeft. Gevraagd wordt:

   a. De versterking van de eerste buis.
   b. Hoe groot is dan de wisselspanning op het rooster van de eindbuis, als de frequentie van de wisselspanning 3000 Hz is?
   c. Als de dynamische steilheid van de eindbuis 2 mA/V bedraagt, hoe groot is dan de anodewisselstroom in de primaire wikkeling van de uitgangstransformator?
   d. Als de luidsprekertransformator een wikkelingsverhouding van 40 : 1 heeft, hoe groot is dan de stroom door het luidsprekerspoeltje?



TABEL

$n = \sqrt{n^2}$	n^2	$n = \sqrt{n^2}$	n^2
1	1	51	2601
2	4	52	2704
3	9	53	2809
4	16	54	2916
5	25	55	3025
6	36	56	3136
7	49	57	3249
8	64	58	3364
9	81	59	3481
10	100	60	3600
11	121	61	3721
12	144	62	3844
13	169	63	3969
14	196	64	4096
15	225	65	4225
16	256	66	4356
17	289	67	4489
18	324	68	4624
19	361	69	4761
20	400	70	4900
21	441	71	5041
22	484	72	5184
23	529	73	5329
24	576	74	5476
25	625	75	5625
26	676	76	5776
27	729	77	5929
28	784	78	6084
29	841	79	6241
30	900	80	6400
31	961	81	6561
32	1024	82	6724
33	1089	83	6889
34	1156	84	7056
35	1225	85	7225
36	1296	86	7396
37	1369	87	7569
38	1444	88	7744
39	1521	89	7921
40	1600	90	8100
41	1681	91	8281
42	1764	92	8464
43	1849	93	8649
44	1936	94	8836
45	2025	95	9025
46	2116	96	9216
47	2209	97	9409
48	2304	98	9604
49	2401	99	9801
50	2500	100	10000

71. LF versterker met weerstandskoppeling

In de voorgaande les werd het principe van de LF versterking behandeld, waarbij voor de koppeling met de volgende versterkbuis een combinatie van weerstand-condensator-weerstand werd gebruikt. Een dergelijke koppeling wordt weerstandskoppeling genoemd, omdat hierbij de anodewisselspanning over een weerstand (Ra) ontstaat. Er wordt hierin weliswaar gebruik gemaakt van een koppelcondensator, maar zolang de reactantie van deze condensator klein is ten opzichte van de volgende lekweerstand, kan de invloed van deze condensator worden verwaarloosd. We hebben dan inderdaad alleen met de koppelweerstand Ra te maken.

Wij hebben uit het rekenvoorbeeld op blz. 2 van les 15 gezien, dat vooral voor de laagste frequenties, de koppelcondensator een verzwakking veroorzaakt. Het is niet zo moeilijk voor elke frequentie uit te rekenen, hoe groot deze verzwakking is. De resultaten van deze berekeningen kan men in een grafiek uiteenzetten; fig. 1a geeft hiervan een voorbeeld. We zien hieruit dat boven een bepaalde frequentie (A in fig. 1a) de koppelcondensator geen verzwakkende invloed meer heeft. Gaan we nu van de logische veronderstelling uit, dat de

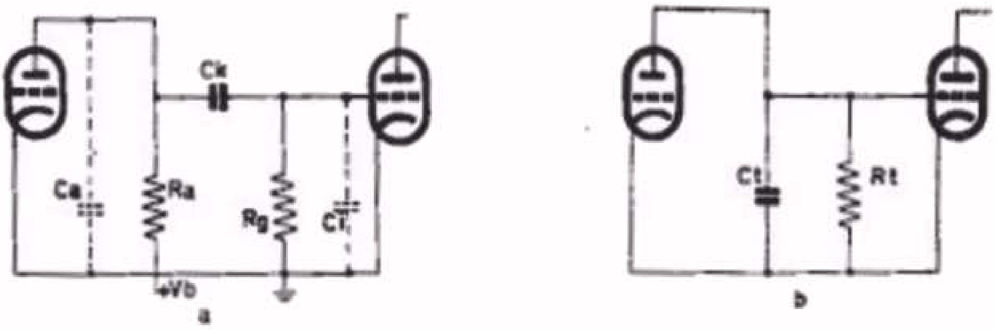
a. Frequentiekarakteristiek voor het lage frequentiegebied. Op de verticale as is de uitgangsspanning van de versterker of het ontvangtoestel uitgezet, op de horizontale as de frequentie.

b. Frequentiekarakteristiek voor het hoge frequentiegedeelte.

Fig. 1

wisselspanningen met de verschillende frequenties, in het ontvangtoestel, in dezelfde sterkteverhouding aan de luidspreker moeten worden toegevoerd als zij in de studio van de zender worden opgewekt, dan moet de versterking gelijkmatig zijn voor alle frequenties. Dan mag de versterker geen voorkeur voor een bepaalde frequentie vertonen of een bepaald gedeelte van het frequentiegebied zwakker doorgeven dan een ander gedeelte. Het verloop van het begingedeelte van de grafiek in fig. 1a (men noemt dit de frequentie-karakteristiek) betekent dus een afwijking van de werkelijke situatie, d.w.z. de lage tonen zullen zwakker doorkomen dan zij voor de microfoon in de studio ten gehore werden gebracht. Men noemt dit vervorming, omdat als het ware een vervormd beeld van de oorspronkelijke spraak of muziek wordt weergegeven. Er zal dus naar gestreefd worden, deze vervorming zoveel mogelijk te voorkomen. In verband met de weergave van de lage tonen zal daarom steeds de koppelcondensator een zodani-

ge waarde gegeven worden dat zijn reactantie X_C klein is ten opzichte van de lekweerstand van de volgende buis. Behalve de lage frequenties worden ook de hoge frequenties verzwakt en wel door de altijd aanwezige parasitaire parallelcapaciteit. In fig. 2a. hebben we de weerstandskoppeling nogmaals getekend met de aanwezige parallelcapaciteiten Ca en Ci. De capaciteit Ca bestaat uit de capaciteit tussen de anode en de kathode van de eerste buis + de capaciteit van de daaraan verbonden bedrading tegenover aarde. Ci bestaat uit



a. Principeschema van de weerstandskoppeling met de parasitaire parallelcapaciteiten Ca en Ci.

b. Vervangingsschema van fig. 2a voor de hoge frequenties. In dit geval kan men het koppelelement vervangen denken door de parallelschakeling van een weerstand met een condensator.

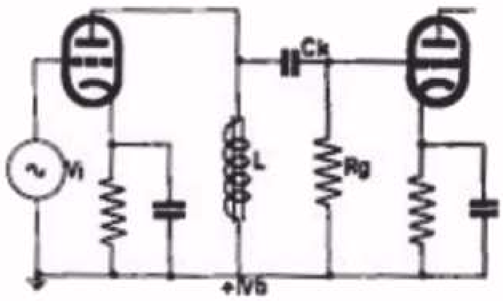
Fig. 2

de capaciteit tussen het stuurrooster en de kathode van de volgende buis + de capaciteit van de daaraan verbonden bedrading tegenover aarde. Voor de hoge frequenties kan de invloed van de koppelcondensator Ck worden verwaarloosd, daar voor deze frequenties de reactantie X_C zeker klein is ten opzichte van R_g. We kunnen het schema van fig. 2a dan vereenvoudigen tot dat van fig. 2b. Hierin is nu Ct gelijk aan de parallelschakeling van Ca en Ci en Rt gelijk aan de parallelschakeling van Ra en Rg. De anode-impedantie van de versterkbuis, Za, is nu gelijk aan de parallelschakeling van Ct en Rt. Aangezien de reactantie van een condensator kleiner wordt, naarmate de frequentie hoger is, zal de invloed van de condensator Ct op de anode-impedantie groter worden met toenemende frequentie. De impedantie zal dus met een hogere frequentie steeds kleiner worden, en dientengevolge ook de versterking. Deze verzwakking van de hoge frequenties door Ct kan ook weer grafisch worden voorgesteld (fig. 1b.). Combinatie van fig. 1a en b geeft de volledige frequentie-karakteristiek van het L.F. gedeelte.

Wij zullen in een latere les zien op welke wijze de invloed van C_k en C_t op de frequentie-karakteristiek kan worden gecompenseerd.

72. Smoorspoelkoppeling

Uit de vorige les bleek dat de versterking van een triode begrensd wordt door de grootte van de anodeweerstand. Bij een bepaalde voedingsspanning kan de anodeweerstand niet te groot worden gekozen, daar anders te weinig spanning voor de anode overblijft (Va = Vb - Ia x Ra). Men kwam toen op de gedachte de anodeweerstand te vervangen door een spoel met grote zelfinductie (fig. 3). De gelijkstroom-



Principeschema van een L.F.versterkbuis met smoorspoelkoppeling.

Fig. 3

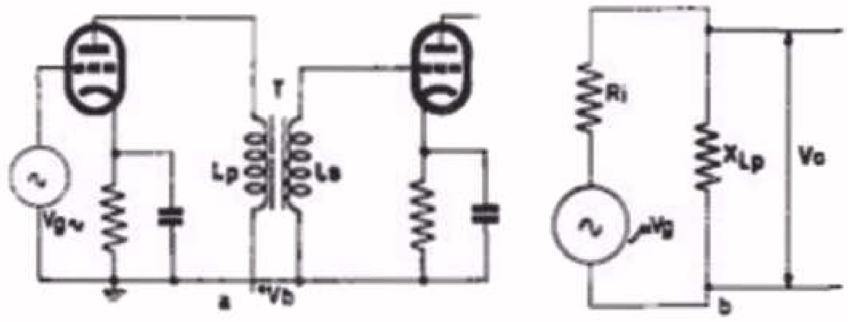
weerstand van de spoel wordt uitsluitend bepaald door de Ohmse weerstand van de draad, de wisselstroomweerstand kan echter groot zijn ($X_L = 6{,}28\ fL$). Voor $f = 500$ Hz en $L = 100$ H, wordt de wisselstroomweerstand gelijk aan:

$$X_L = 6{,}28 \times 500 \times 100 = 300.000\,\Omega$$

Schakelen we deze spoel in de anodeleiding van een triode, waarvan $Ri = 30.000\,\Omega$ dan is X_L groot ten opzichte van Ri, en zal de versterking practisch gelijk aan de versterkingsfactor van de buis kunnen zijn. Deze oplossing lijkt ideaal; er zijn helaas ook bezwaren, die tot resultaat hebben dat deze oplossing tegenwoordig practisch niet meer wordt toegepast. Een spoel met een grote zelfinductie betekent een spoel met zeer veel windingen.
Deze windingen hebben onderling een bepaalde capaciteit, die bij elkander opgeteld een vrij grote, niet te verwaarlozen, parallelcapaciteit vertegenwoordigt. Deze parallelcapaciteit heeft dezelfde invloed als bij weerstandskoppeling, d.w.z. de hoge tonen worden sterk verzwakt. Door dit verschijnsel wordt de grootte van de zelfinductie sterk beperkt, zodat ook de reactantie veel kleiner moet worden gehouden, waardoor het voordeel belangrijk vermindert. Omdat de constructie van deze spoel veel overeenkomst vertoont met die van de smoorspoel in het afvlakfilter van het voedingsgedeelte, wordt deze koppeling smoorspoelkoppeling genoemd.

73. Transformatorkoppeling

Een derde oplossing, die thans nog wel toegepast wordt, is de transformatorkoppeling (fig. 4a). Inplaats van de anodeweerstand Ra



a. Principeschema van een L.F. versterkbuis met transformatorkoppeling.
b. Vervangingsschema van fig. 4a.

Fig. 4

in fig. 2a komt nu de primaire wikkeling van de transformator T. Als de transformator een transformatieverhouding 1 : n heeft, wordt de spanning over de primaire nog een factor n opgetransformeerd hetgeen een extra winst oplevert. De versterking wordt dan bij benadering (zie ook fig. 4b):

$$G = \mu \times n \times \frac{X_{Lp}}{X_{Lp} + Ri} \quad \text{(zie les 14, par. 67)}$$

Hierin is:

μ = versterkingsfactor van de triode
X_{Lp} = reactantie van de primaire van de transformator = $6{,}28\ fLp$
n = transformatieverhouding

Hiervoor geldt uiteraard weer dat de reactantie X_{Lp} groot moet zijn ten opzichte van de inwendige weerstand Ri van de versterkbuis. Ter illustratie willen wij uitgaan van de volgende gegevens:

Ri = 20 kΩ ; Lp = 30 H, zodat voor f = 500 Hz : X_{Lp} = 6,28 x 500 x 30 = 100 k Ω.
Als μ = 25 en n = 3, wordt de totale versterking bij benadering:

$$G = \mu \times n \times \frac{X_{Lp}}{X_{Lp} + Ri} = 25 \times 3 \times \frac{100}{100 + 20} = \text{ca. } 62.$$

Men zou de transformatieverhouding n natuurlijk groter kunnen kiezen en daardoor een grotere totale versterking kunnen verkrijgen. Dit brengt echter met zich een groter aantal windingen van de secundaire wikkeling van de transformator en dientengevolge weer een niet te verwaarlozen parallelcapaciteit over deze wikkeling.

In het ontvangtoestel wordt de transformator als koppelelement tussen L.F. versterkbuis en eindbuis practisch niet meer gebruikt, wel echter in versterkers van groot vermogen. Als koppelelement tussen eindbuis en luidspreker komt de transformator echter veel voor. Deze toepassing werd reeds in de vorige les behandeld. Wij hebben toen gezien, dat de transforgatieverhouding dan wordt bepaald door de verhouding van de aanpassingsweerstand Ra van de eindbuis tot de wisselstroomweerstand van de luidspreker. Uit bovenstaande blijkt, dat bovendien de grootte van de zelfinductie van de primaire wikkeling belangrijk is, nl. dat X_{Lp} voldoende groot is ten opzichte van de Ri van de eindbuis. Een eindbuis met een grote Ri vraagt dus een grotere primaire zelfinductie dan een eindbuis met een lage Ri. Hierop dient men te letten bij vervanging van een luidsprekertransformator door een ander type.

74. Penthode als L.F. versterker.

De triode als LF versterker, vooral als eindbuis, is practisch geheel verdrongen door de penthode. In les 12 is reeds verteld dat een penthode een buis met 3 roosters is. Vanaf de kathode gezien (fig. 5) zijn deze roosters:

het stuurrooster g1,
het schermrooster g2,
het remrooster g3.

Het stuurrooster heeft dezelfde functie als in de triode. Het schermrooster wordt op een positieve spanning aangesloten, terwijl het tevens via een grote capaciteit met aarde is verbonden (fig. 6).

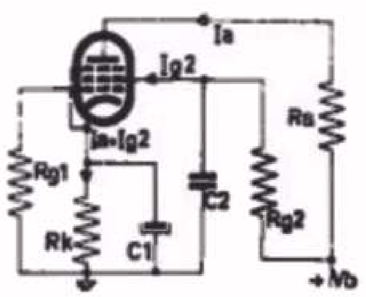
Het remrooster wordt meestal aan de kathode verbonden en dient voor opheffing van de invloed van de secundaire emissie van de anode. De electronen, die uit de kathode komen en zich rondom de kathode in de ruimtelading verzamelen, worden nu door de positieve spanning van het schermrooster, en niet door de anode zoals bij een triode, aangetrok-

Principeschema van een penthode.

k = kathode
g1 = stuurrooster
g2 = schermrooster
g3 = remrooster
a = anode

Fig. 5

ken. Een klein gedeelte van de electronenstroom komt op het schermrooster terecht, het grootste gedeelte schiet tussen de roostermazen door en komt via het remrooster met een grote snelheid op de anode terecht. Door de botsing van de electronen op de anode worden weer andere electronen, z.g. secundaire electronen, vrijgemaakt. Deze secundaire electronen willen zich naar het positieve schermrooster begeven, waardoor zij de "primaire" electronenstroom tegenwerken. Om dit te voorkomen is het remrooster tussen schermrooster en anode aangebracht. Aangezien het remrooster met aarde of met de kathode verbonden wordt, bevindt dit rooster zich op een negatief potentiaal ten opzichte van de anode, waardoor een remmende werking op de secundaire electronen uitgeoefend wordt. Hierdoor krijgt de anode de kans de secundaire electronen weer naar zich toe te trekken. Vandaar de naam remrooster.



Principeschema van een penthode als L.F. versterker.

Fig. 6

Door het aanbrengen van het schermrooster, dat een positieve spanning ten opzichte van de kathode heeft, heeft de anode vanaf een bepaalde spanning, practisch geen invloed op de electronenstroom. Dit heeft tot gevolg dat een anodespanningsverandering bijna geen anodestroomverandering tot gevolg heeft. Aangezien $Ri = \frac{\Delta Va}{\Delta Ia}$ zal een bepaalde anodespanningsverandering Va een veel kleinere anodestroomverandering Ia tot gevolg hebben als bij een triode. Dit komt hierop neer dat de inwendige weerstand Ri van een penthode veel groter is dan die van een triode.

Beschouwen wij de buis weer als een spanningsgenerator met een EMK van μ x Vg met een inwendige weerstand Ri en een uitwendige weerstand Ra, dan wordt in het geval van een penthode de stroom practisch geheel bepaald door de Ri (de Ri is nu namelijk veel groter dan de Ra). De penthode kan men daarom ook als een constante stroomgenerator beschouwen, met een stroom Ia, die gelijk is aan S x Vg. De spanning over de anodeweerstand wordt dan:

$$Vo = Ia \times Ra = S \times Vg \times Ra.$$

Hieruit volgt voor de versterking:

$$G = \frac{Vo}{Vg} = S \times Ra.$$

Hierin is de steilheid S uitgedrukt in A/V. Is de steilheid van de buis b.v. 1 mA/V en Ra = 0,2 MΩ, dan wordt de versterking:

$$G = \frac{Vo}{Vg} = 0{,}001 \times 200.000 = 200.$$

Hieruit blijkt, dat met de penthode een aanzienlijk grotere versterking kan worden verkregen dan met een triode.

In het schema van fig. 6 wordt de principiële schakeling van de penthode als L.F. versterker weergegeven. Hierin is het schermrooster via een hoge weerstand op de voedingsspanning Vb aangesloten. Tevens is het schermrooster door middel van een condensator met aarde verbonden. Deze condensator moet zo groot zijn, dat zijn reactantie klein is ten opzichte van de weerstand Rg2 in de schermroosterleiding.

LES 16

15. De penthode als eindbuis

Als eindbuis heeft de penthode het voordeel, dat een kleine rooster-wisselspanning meestal voldoende is om de buis een grote wisselstroomenergie te laten afgeven. Ter orientatie volgen hieronder de gegevens van twee veel gebruikte eind penthoden (EL 41 en UL 41) en, ter vergelijking van de triode-eindbuis AD 1.

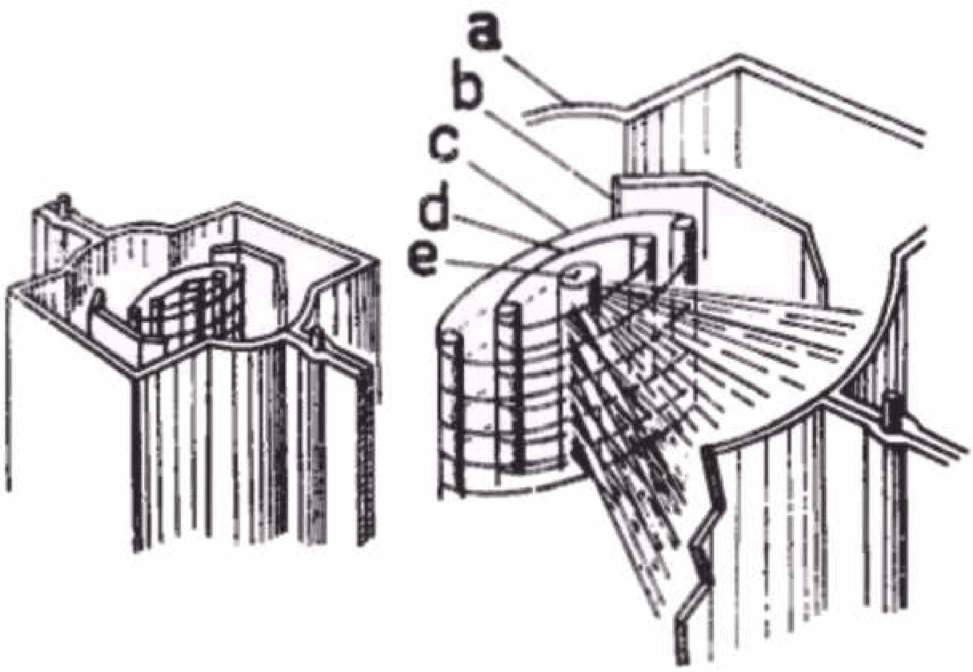
Type	Vf (V)	If (A)	Va (V)	Vg2 (V)	Rk (Ω)	Ia (mA)	Ig2 (mA)	S (mA/V)	Wo (W)	Ra (kΩ)	V (Veff)	Wa (W)
EL 41	6,3	0,71	250	250	170	36	5,2	10	3,9	7	3,8	9
UL 41	45	0,100	170	170	165	53	10	9,5	4	3	6,0	9
AD 1	4,0	0,95	250	-	750	60	-	6	4,2	2,3	30	15

Over deze tabel nog de volgende opmerkingen:

1. Aangezien de negatieve roosterspanning vrijwel altijd automatisch wordt verkregen door middel van een kathode weerstand, is in deze tabel de kathodeweerstand vermeld in plaats van de negatieve roosterspanning. Voor een penthode wordt de negatieve roosterspanning berekend uit:

$$V_{g1} = (I_a + I_{g2}) \times R_k.$$

2. Vi is de roosterwisselspanning, die nodig is voor het verkrijgen van het uitgangsvermogen Wo, dat in de tabel vermeld staat.
3. Het schermrooster wordt veelal direct op de voedingsspanning aangesloten.
4. De kathode-weerstand Rk voor de AD 1 is een weerstand in de minleiding, aangezien de kathode van deze triode direct verhit is.



Schets van een "beam power" buis.

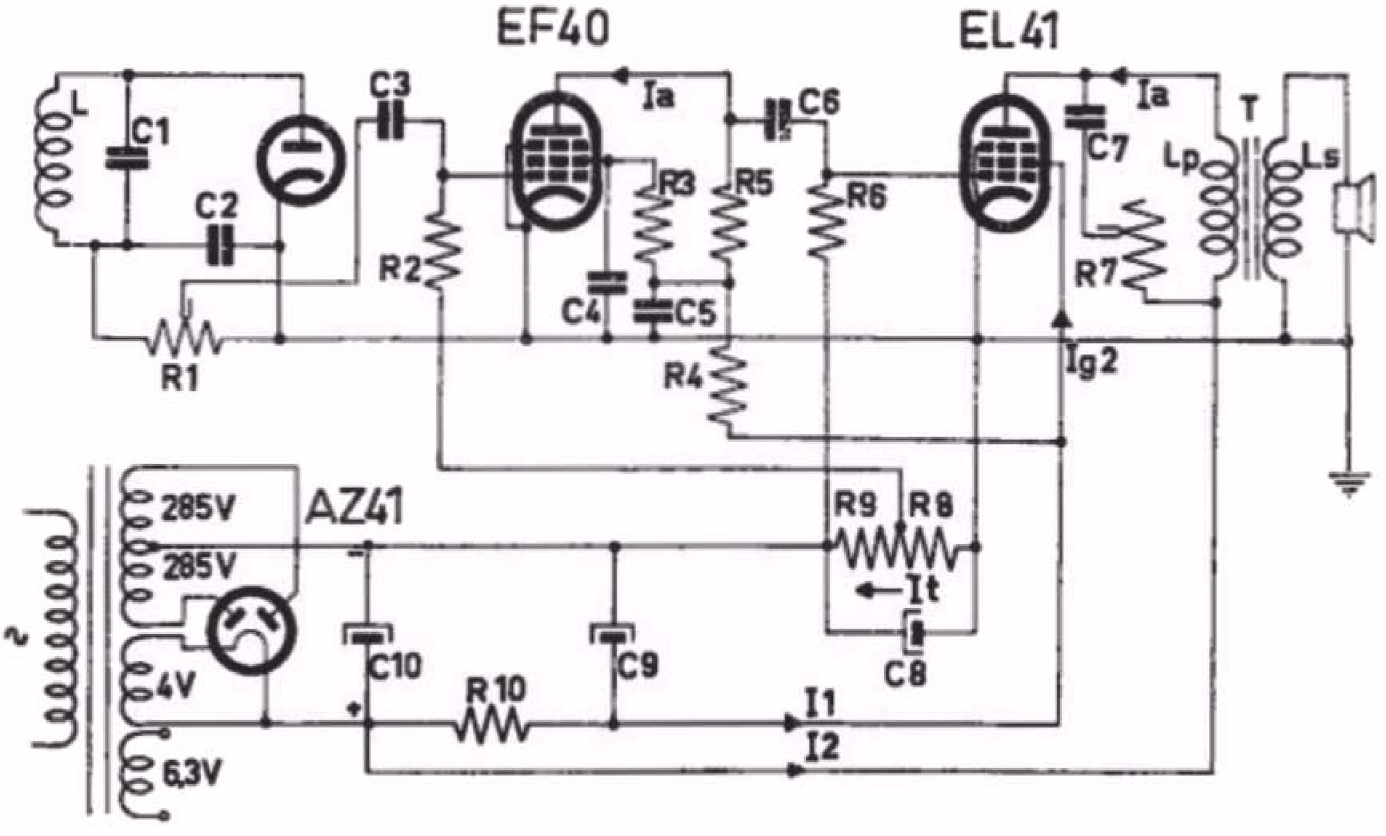
a = anode
b = afbuigplaat
c = schermrooster
d = stuurrooster
e = kathode.

Fig. 7

De Amerikaanse fabrieken gebruiken inplaats van de penthode-eindbuis de zogenaamde "beam-power" buis (beam is het Engelse woord bundel). Bij deze buis (fig. 7) is de anode op een grotere afstand van het schermrooster geplaatst. Verder worden de electronen, die het schermrooster passeren, door middel van afbuigplaten tot twee bundels verenigd. Hierdoor worden de electronen dicht op elkander gedreven, met het gevolg dat een zekere negatieve ruimtelading ontstaat. Aangezien deze ruimtelading zich tussen het schermrooster en de anode bevindt, doet zij dezelfde dienst als het remrooster in de penthode.

76. Schemabespreking

Wij hebben tenslotte in fig. 8 nogmaals het complete schema van de detector tot aan de luidspreker, inclusief de voeding, weergegeven.



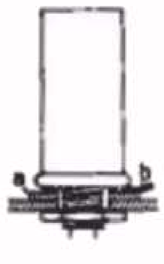
Schema van de detectortrap, het L.F.gedeelte en het voedingsgedeelte van een ontvangtoestel.

C1 = max. 500 pF (variabele condensator)	R1 = 0,5 Megohm (logarithmische potentiometer)
C2 = 100 pF (keramische condensator)	
C3 = 20.000 pF (rolblokcondensator)	R2 = 1 Megohm (koolweerstand)
C4 = 50.000 pF (rolblokcondensator)	R3 = 1 Megohm (koolweerstand)
C5 = 50.000 pF (rolblokcondensator)	R4 = 50.000 Ohm (koolweerstand)
C6 = 20.000 pF (rolblokcondensator)	R5 = 0,2 Megohm (koolweerstand)
C7 = 50.000 pF (rolblokcondensator)	R6 = 0,7 Megohm (koolweerstand)
C8 = 100 μF-12,5 V (electrolytische condensator)	R7 = 50.000 Ohm (variabele weerstand)
C9 = 50 μF-320 V (electrolytische condensator)	R8 = 25 Ohm (koolweerstand)
C10 = 50 μF-320 V (electrolytische condensator)	R9 = 90 Ohm (koolweerstand)
fig. 8	R10 = 1200 Ohm (draadgewonden weerstand)

ven. Hierin zijn de L.F. penthode EF 40 en de penthode-eindbuis EL 41 gebruikt. Dit schema komt in grote trekken overeen met dat van fig. 10 uit les 15. Wij hebben echter ditmaal de negatieve roosterspanning voor de buizen verkregen door middel van 2 weerstanden in de minleiding (in fig. 10 van les 15 werd de negatieve roosterspanning door middel van kathodeweerstanden verkregen). Deze weerstanden (R8 en R9) zijn zo gekozen, dat de vereiste negatieve roosterspanning voor de buizen EF 40 en EL 41 ontstaat. Deze spanningen bedragen voor de EF 40 en EL 41 resp. -1,5 V en -7 V. Bij een totale stroom in de minleiding van 60 mA, geeft dit voor R8 + R9 een waarde van $\frac{7}{0,06}$ = ca. 115Ω. De spanning over R8 wordt gebruikt voor de negatieve roosterspanning van de EF 40. De waarde van R8 moet dus zijn:

$\frac{1,5}{0,06}$ = 25 ; R9 wordt dus 115 - 25 = 90Ω. De aanwezigheid van de weerstanden R8 en R9 in de minleiding van het voedingsgedeelte heeft nog de volgende consequentie: De condensatoren C9 en C10 zijn zo geschakeld, dat hun huis aan de minleiding ligt. Zonder de weerstanden R8 + R9 is de minleiding direct met aarde, d.w.z. met het chassis verbonden. Door de tussenschakeling van de weerstanden is dit niet meer het geval. Dit heeft tot gevolg dat de afvlakcondensatoren niet direct op het chassis kunnen worden gemonteerd. In zo'n geval worden de afvlakcondensatoren door middel van een isolatiering geisoleerd op het chassis bevestigd.
De aansluiting van het huis, dus van de minpool, geschiedt dan met een onderlegring met soldeerlip (zie fig. 9).

Een andere bijzonderheid van het schema van fig. 8 is het filter C7 - R7. Met dit filter kan op een eenvoudige wijze toonregeling worden verkregen. R7 is een regelbare weerstand. Als deze weerstand geheel is uitgedraaid, zodat hij 0 Ω is, staat de condensator C7 direct parallel aan de primaire wikkeling van de luidsprekertransformator. We kunnen C7 een zodanige waarde geven, dat zijn reactantie voor de frequentie van de hoge tonen ongeveer even groot is als de getransformeerde luidsprekerweerstand over de primaire (n^2 x Rs). Voor deze hoge tonen gaat dan een groot gedeelte via de condensator C7 en niet door de luidsprekerwikkeling. Op deze wijze worden de hoge tonen dus verzwakt. Wordt de weerstand R7 meer ingedraaid, dan vermindert de invloed van C7, aangezien R7 in serie staat met C7. Men kan de verzwakking van de hoge tonen dus naar wens met de weerstand R7 regelen. Deze toonregeling werkt eenzijdig, nl. alleen verzwakking voor de hoge tonen. Wij zullen in latere schemabesprekingen andere toonregelingsschakelingen behandelen, waarmede zowel de lage als de hoge tonen-weergave kan worden geregeld.



Schets van de geisoleerde bevestiging van een electrolytische condensator.

a = isolatiering

b = metalen ring met soldeerlip.

Fig. 9

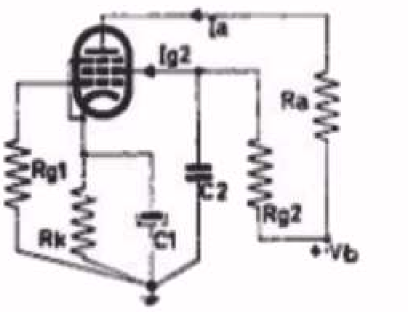
77. Practische wenken

A. Brom

Een van de lastigste en meest hinderlijke storingen in het L.F. gedeelte is brom. De storende bromspanning heeft een frequentie gelijk aan de netfrequentie of de dubbele netfrequentie, zodat zij door de L.F. versterker op de zelfde wijze wordt versterkt als de gewenste wisselspanning. Men dient dus alles te doen om te vermijden, dat brom optreedt.

Brom kan op verschillende wijze in de L.F. versterker worden opgewekt. De brom kan op inductieve wijze, b.v. via de nettransformator op de leidingen worden geinduceerd. In verband hiermede wordt met de plaatsing van de nettransformator rekening gehouden. Verder kan de rimpelspanning over C9 en C10 oorzaak van brom zijn (zie ook les 13). In verband hiermede wordt de voedingsspanning voor de anode en het schermrooster van de L.F. versterkbuis dikwijls extra ontkoppeld door middel van een weerstand en condensator (R4-C5).

Het is ook belangrijk, dat de verschillende weerstanden en condensatoren, die met aarde moeten worden verbonden, werkelijk goed geaard worden en op één punt geaard worden. Als n.l. verschillende onderdelen op verschillende punten worden geaard, kunnen tussen deze punten in het chassis aardstroompjes gaan lopen, die brom tot gevolg kunnen hebben. Zo is in fig. 10 aangegeven, hoe bij de L.F. versterkbuis verschillende onderdelen naar één aardpunt moeten worden gebracht. Tevens moet erop worden gelet, dat de ontkoppelcondensatoren, die hiervoor worden gebruikt, zodanig worden aangesloten, dat voor de verbinding met aarde die electrode wordt gebruikt, die met het buitenbekleedsel is verbonden (zie ook les 8).



Schema van een L.F. versterkpenthode, waarbij alle aardaansluitingen op één punt samenkomen.

fig. 10

De verbindingen met de potentiometers voor de volumeregeling en toonregeling worden over het algemeen van afgeschermde draad gemaakt. De mantel van deze draad wordt dan weer aan het gemeenschappelijke aardpunt verbonden. Aangezien deze afgeschermde draad dikwijls een beduidende capaciteit ten opzichte van aarde heeft, kan dit verzwakking van de hoge frequenties veroorzaken. Deze draadverbindingen moeten dan ook zo kort mogelijk worden gehouden.

B. Microfonie

Wij hebben reeds in les 8 bij de behandeling van de variabele condensator deze storing in het kort vermeld. Microfonie kan ook optreden door de accoustische terugwerking van de luidspreker op de buis. Onder invloed hiervan raakt de buis in mechanische trilling, waardoor een huiltoon kan ontstaan. Daarom wordt de buishouder van de L.F. versterkbuis dikwijls verend op het chassis bevestigd. Soms kan het nog noodzakelijk zijn, een trilling dempende kap over de buis aan te brengen.

SAMENVATTING

1. Men onderscheidt voor de koppeling tussen de L.F. buis en de eindbuis de volgende drie systemen:
   a. weerstandskoppeling
   b. smoorspoelkoppeling
   c. transformatorkoppeling.

2. De afhankelijkheid van de versterking van de frequentie geeft men weer door de frequentiekarakteristiek.

3. Bij de weerstandskoppeling veroorzaakt de koppelcondensator een verzwakking van de lage tonen, de parasitaire parallelcapaciteit een verzwakking van de hoge tonen.

4. Een penthode is een buis met drie roosters: stuurrooster, schermrooster en remrooster.
   Het schermrooster ontvangt een positieve spanning en wordt, voor wisselspanningen, via een condensator aan aarde gelegd. Het remrooster wordt meestal aan de kathode verbonden.

5. De penthode heeft, dank zij het schermrooster, een hoge inwendige weerstand. Voor de versterking van een penthode kan men daarom de volgende formule gebruiken:

$$G = \frac{Vo}{Vg} = S \times Ra$$

6. De frequentiekarakteristiek van een ontvanger kan worden beinvloed door een serieschakeling van een condensator met een regelbare weerstand, parallel over de primaire wikkeling van de luidsprekertransformator. Hiermede kunnen de hoge tonen meer of minder worden verzwakt. Men noemt dit een toonregeling.

7. De belangrijkste storingen in een L.F. versterker zijn brom en microfonie.

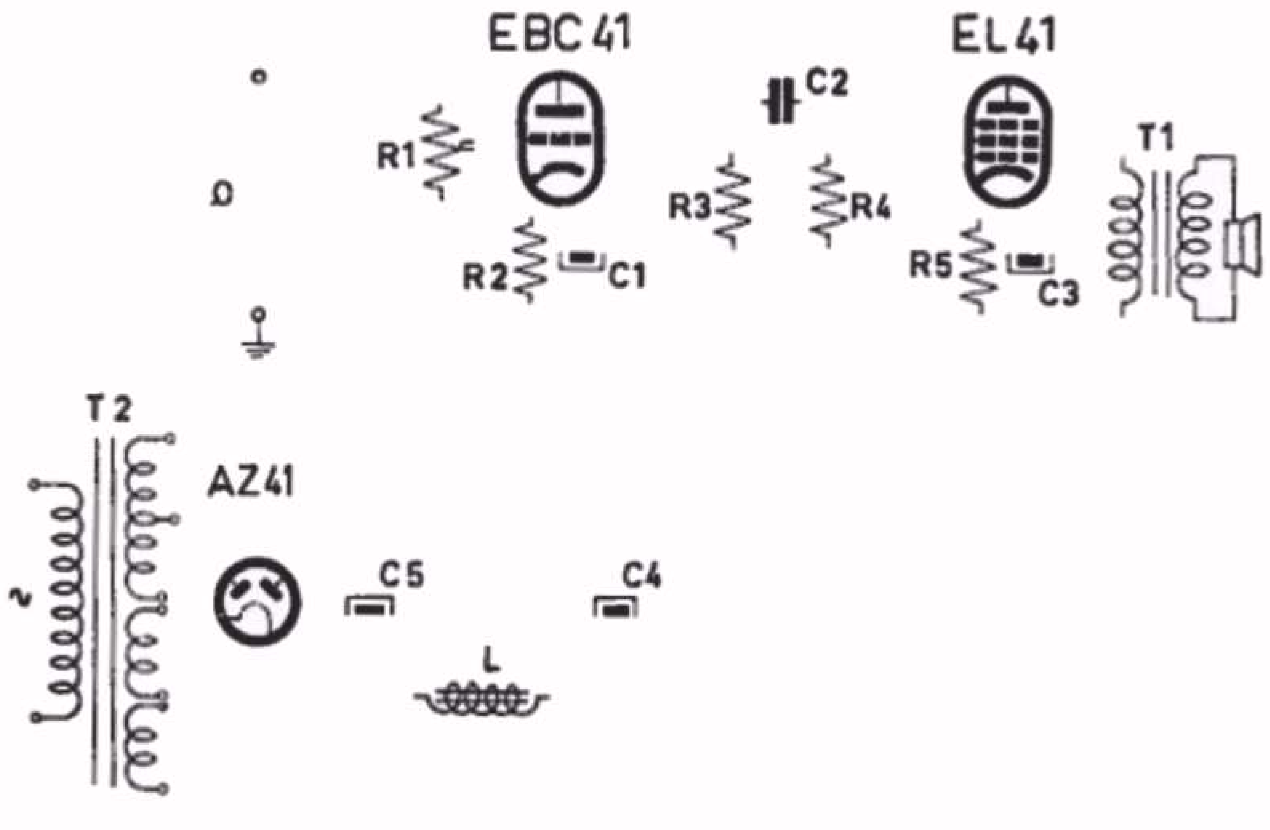
VRAGEN EN VRAAGSTUKKEN

1. Van een penthode is de anodestroom 5 mA en de schermroosterstroom 1 mA. De negatieve roosterspanning moet 3 V bedragen. Hoe groot moet de kathodeweerstand zijn?

2. Van de penthode van vraagstuk 1 is het schermrooster via een weerstand van 0,2 Megohm op de voedingsspanning van 250 V aangesloten. Hoe groot is de schermroosterspanning ten opzichte van aarde in dit geval?

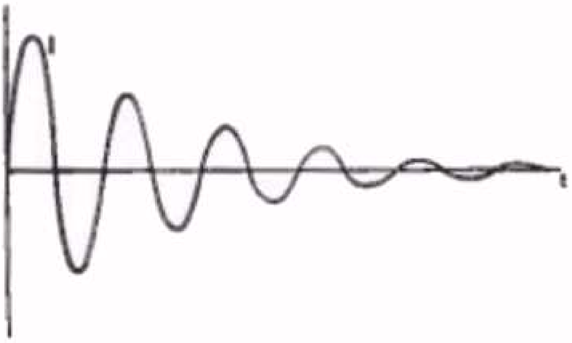
3. Als men deze schermroosterspanning met een Voltmeter van 200 Ohm/Volt meet, komt de uitslag van de meter niet overeen met de werkelijke aanwezige spanning. Kunt U dit verklaren? Het meetbereik van de meter is 100 V.

4. Breng in onderstaand overzicht van onderdelen de verbindingen aan, zodat het schema van een L.F. versterker met voeding uit het wisselstroomnet ontstaat. Geef in dit schema tevens aan, hoe groot de onderdelen ongeveer moeten zijn.



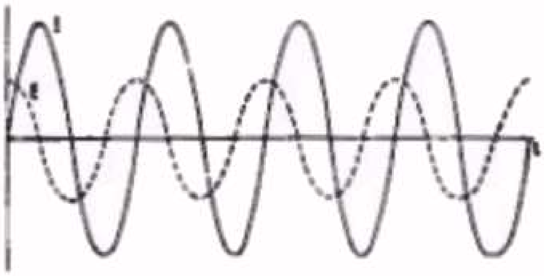
78. De triode als oscillator

In les 10, par. 54, hebben we gezien dat in een afstemkring een trilling ontstaat als een bepaalde energie aan de kring wordt toegevoerd. Als de kring daarna aan zichzelf wordt overgelaten, komt de trilling na een bepaalde, meestal korte, tijd tot rust. Men heeft dan een gedempte trilling, die in fig. 9 van bovengenoemde les is



Beeld van een gedempte trilling

Fig. 1

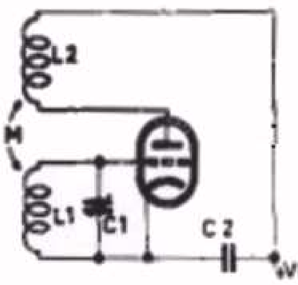


Beeld van een ongedempte trilling.

Fig. 2

voorgesteld en die wij nogmaals in fig. 1 afdrukken. Verder hebben wij gezien, dat deze trilling ongedempt kon worden gemaakt, als juist zoveel energie wordt toegevoerd, als per periode in de kring verloren gaat. Dit verlies is te wijten aan de Ohmse weerstand en de wisselstroomweerstand van de kring, d.w.z. hoofdzakelijk van de spoel. (In het principeschema van de kring wordt dit voorgesteld door een enkele weerstand, waarbij dan de kringelementen zelf verliesvrij worden verondersteld). De ongedempte trilling heeft de eigenschap een constante amplitude te hebben. Deze trilling is nogmaals voorgesteld in fig. 2.

Wij kunnen een dergelijke trilling met behulp van een triode opwekken in de schakeling van fig. 3. Hierbij is in de roosterketen een afgestemde kring L1-C1 opgenomen en in de plaatketen een spoel L2 die magnetisch gekoppeld is met spoel L1 van de afgestemde kring. Zodra een anodestroomverandering optreedt (hetgeen bijv. reeds een korte tijd na het inschakelen van de buis geschiedt), ontstaat een magnetische veldverandering in de spoel L2, waardoor een inductiespanning in de spoel L1 wordt opgewekt. Hierdoor komt de kring L1-C1 in trilling met een frequentie die gelijk is aan de eigenfrequentie van de kring. De hierdoor ontstane wisselspanning (tussen rooster en kathode) veroorzaakt een anode-wisselstroom. Deze wisselstroom induceert via L2 op zijn beurt weer een spanning in L1. Als nu de koppeling tussen de spoelen L1 en L2 zodanig is, dat aan L1 juist zoveel spanning wordt teruggevoerd als de geïnduceerde spanning over de kring afneemt, is aan één voorwaarde voldaan om een ongedempte trilling te krijgen. De tweede voorwaarde is, dat de teruggevoerde spanning (van L2 naar L1) in faze is met de spanning over de kring L1-C1. Op deze wijze werkt de triode als een generator of oscillator.

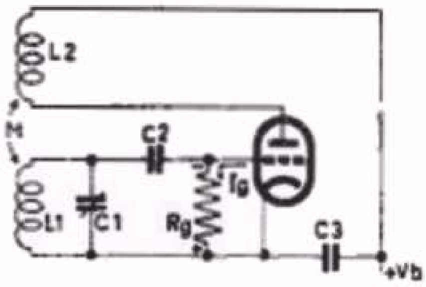


Principe van een inductief gekoppelde oscillator.

Fig. 3

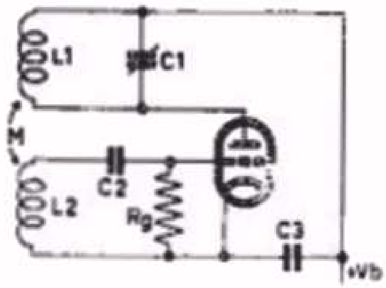
Uit les 10 bleek verder, dat de frequentie van de trilling afhankelijk is van de grootte van de zelfinductie en van de capaciteit. Als men voor de condensator C1 een variabele condensator neemt, kan men de frequentie van de opgewekte wisselspanning regelen. De kringloop: roosterspanning - anodestroom - roosterspanning noemt men terugkoppeling. Hierbij zijn de rooster- en de anodekring met elkander gekoppeld. Door deze koppeling wordt nl. bij een roosterspanningsverandering (door de hierdoor ontstane anodestroomverandering) weer een roosterspanningsverandering teruggevoerd. In het geval van fig. 3 spreken we van een inductieve terugkoppeling. De spoel L2 wordt terugkoppelspoel genoemd.

De schakeling van fig. 3 is zonder meer niet geschikt om een constante wisselspanning op te wekken. Aangezien de teruggekoppelde spanning de oorspronkelijke wisselspanning in stand houdt of zelfs versterkt, ontstaat hierdoor een grotere anodestroomvariatie die weer een grotere teruggekoppelde spanning tot gevolg heeft. Deze teruggekoppelde spanning versterkt weer meer de wisselspanning over de kring enz. Het effect wordt dus steeds sterker, zodat de oscillator als het ware op hol slaat. Men heeft daarom een element nodig dat voor de wisselspanning stabiliserend werkt. Het stabiliserende effect wordt met behulp van een roostercondensator en een lekweerstand verkregen (fig. 4). Zodra een wisselspanning begint te ontstaan, wordt het rooster in de positieve toppen van de wisselspanning positief. Het rooster trekt stroom en laadt de condensator C2 zodanig op, dat een spanning over de weerstand Rg ontstaat, met een polariteit zoals in fig. 4 is aangegeven. Deze negatieve spanning op het rooster heeft een verkleining van de steilheid van de buis tot gevolg. Een kleinere steilheid betekent een kleinere anodestroomvariatie bij een bepaalde roosterspanningsvariatie. De terugkoppeling wordt hierdoor zwakker. Een toeneming van de wisselspanning over de kring heeft dus onmiddellijk een toeneming van de negatieve roosterspanning tot gevolg, en dientengevolge een verkleining van de steilheid. Bij een juiste keuze van de roostercondensator C2 en de lekweerstand Rg ontstaat een stabiel oscilleren, d.w.z. er wordt een wisselspanning opgewekt met een constante amplitude. Een practische waarde voor de roostercondensator is 50 à 100 pF, voor de roosterlekweerstand 50.000 Ohm.



Inductief gekoppelde oscillator met roostercondensator en lekweerstand.

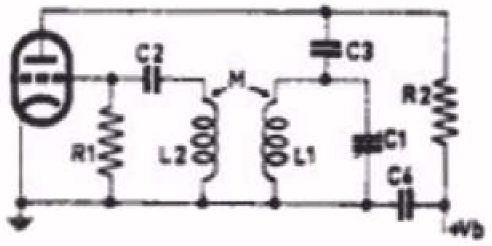
Fig. 4



Inductief gekoppelde oscillator met lekweerstand en roostercondensator, waarbij de afstemkring in de anodeleiding is opgenomen.

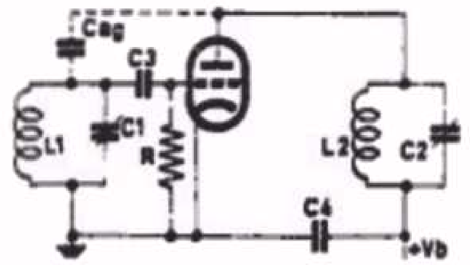
Fig. 5

In fig. 4 is de afgestemde kring in de roosterketen opgenomen. Het is ook mogelijk de afstemkring in de anodeketen op te nemen (fig. 5). In deze figuur is de variabele condensator met de positieve spanning verbonden. Om practische redenen verdient het aanbeveling de variabele condensator aan één zijde te aarden, zodat men de schakeling van fig. 5 meestal in de vorm van fig. 6 uitvoert. Hierin is de afstemkring via een scheidingscondensator C3 in de anodeketen opgenomen en ontvangt de anode van de triode een positieve spanning via de weerstand R2. De terugkoppeling van anode- naar roosterketen behoeft niet uitsluitend van inductieve aard te zijn; zij kan bijv. ook gevormd worden door een capaciteit. In fig. 7 is een oscillatorschakeling getekend met een dergelijke capacitieve terugkoppeling. In de rooster- en anodeketen zijn de kringen L1-C1 resp. L2-C2 opgenomen. Een gedeelte van de versterkte wisselspanning over de anodekring L2-C2 wordt via de capaciteit Cag tussen rooster en anode teruggevoerd naar de roosterkring L1-C1. Als nu aan de voorwaarden, die hierboven zijn genoemd (gelijke fase en voldoende terugkoppeling), wordt voldaan, zal deze schakeling weer oscilleren. Deze schakeling is bekend onder de naam T.P.T.G. schakeling (T.P.T.G. vormen de beginletters van Tuned Plate Tuned Grid, hetgeen betekent: afgestemde plaat, afgestemd rooster).



Inductief gekoppelde oscillator met parallel-voeding van de anode.

Fig. 6



Oscillatorschakeling waarbij de terugkoppeling via de anoderoostercapaciteit Cag wordt verkregen (T.P.T.G.-oscillator).

Fig. 7

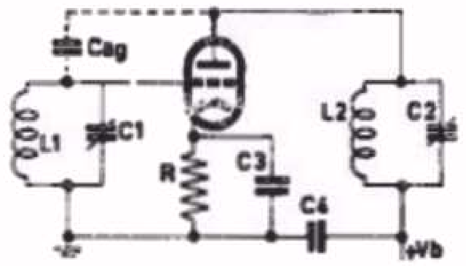
Men heeft ook nog andere bekende oscillatorschakelingen, zoals de Collpitts-oscillator en de Hartley-oscillator. Wij komen op deze schakelingen terug bij het behandelen van de oscillator-schakelingen bij mengbuizen.

79. H.F. Versterking

In les 10 par. 52 maakten wij reeds melding van het feit dat de op de antenne ontvangen draaggolf meestal eerst wordt versterkt, voordat hij aan de detector wordt toegevoerd. Tevens weten we, dat voor een voldoende selectiviteit (zie les 10) meer dan 1 afgestemde kring nodig is. Deze versterking geschiedt in de H.F. trap. In principe komt de werking van de H.F. versterker overeen met die van de L.F. versterker. Een wisselspanning tussen rooster en kathode van de triode, wordt in versterkte mate over een bepaalde impedantie in de anodeketen teruggevonden. Het verschil met de L.F. versterker schuilt hierin, dat de wisselspanning een veel hogere frequentie heeft en

dat de te versterken frequentieband relatief smal is ten opzichte van die van de draaggolffrequentie. Het is logisch dat voor deze impedantie in de anodeketen een afstemkring wordt gebruikt. Deze kring heeft immers een selectief karakter, d.w.z. afhankelijk van de grootte van de capaciteit en de zelfinductie van de kring, heeft zij voor een wisselstroom met een bepaalde frequentie een maximale wisselstroomweerstand (of impedantie).

In les 10 (blz. 13) hebben we gezien dat de impedantie van een parallelkring in afstemming gelijk is aan $Z = \frac{L}{rC}$. (Deze impedantie heeft een practische waarde van ca. 100.000 Ω). Het schema van fig. 8 stelt de schakeling van een triode als H.F. versterker voor. Als wij deze schakeling zouden gaan gebruiken, zouden we reeds zeer spoedig met moeilijkheden hebben te kampen. Hoogstwaarschijnlijk zal de buis gaan oscilleren, hetgeen ongewenst is. Dit is te wijten aan het feit, dat de anode-roostercapaciteit Cag van de triode zo groot is dat de terugkoppeling van de anodewisselspanning over de kring L2-C2 via deze capaciteit oscilleren veroorzaakt. Deze capaciteit heeft een grootte-orde van 1 pF; zij wordt gevormd door het rooster en de anode plus hun verbindingen. Aangezien deze capaciteit voor een H.F. versterkbuis te groot is, is tussen het stuurrooster en de anode een dicht gewikkeld schermrooster aangebracht. (Een dergelijke buis wordt een tetrode genoemd). De werking van dit schermrooster berust op het effect dat aan het einde van par. 41 van les 8 is beschreven. (Als men tussen 2 condensatorplaten een derde plaat voegt, en deze plaat aan aarde legt, wordt de capaciteit tussen de buitenste platen opgeheven). In de tetrode zijn het stuurrooster en de anode de twee bovengenoemde platen en het schermrooster fungeert als de derde aan aarde gelegde plaat. Om echter tevens een hoge inwendige weerstand te verkrijgen, wordt aan het schermrooster een positieve spanning gelegd (zie hiervoor ook les 16). Dit heeft tot gevolg, dat het schermrooster niet direct kan worden geaard; de aarding geschiedt dan voor wisselspanningen via een capaciteit. Door tussenvoeging van het schermrooster is de capaciteit Cag verkleind tot een waarde van ca. 0,002 pF. Deze waarde is dus ca. 500 x kleiner dan die van de triode. Om verder geen hinder te ondervinden van de secundaire emissie van de anode is tevens een remrooster aangebracht (zie les 16).

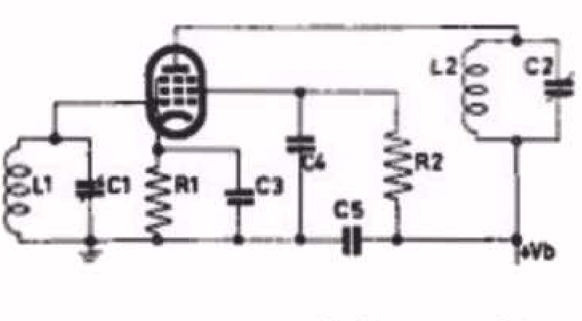


Principe van de triode als H.F.-versterker. Door de te grote Cag ontstaat gemakkelijk genereren.

Fig. 8

Een buis die is uitgerust met een stuurrooster, schermrooster en remrooster noemen we een penthode. Voor H.F. versterking komt uitsluitend een penthode in aanmerking.

Het schema van de penthode als H.F. versterker is in fig. 9 afgebeeld. De ontkoppelcondensator C3 van het scherm-

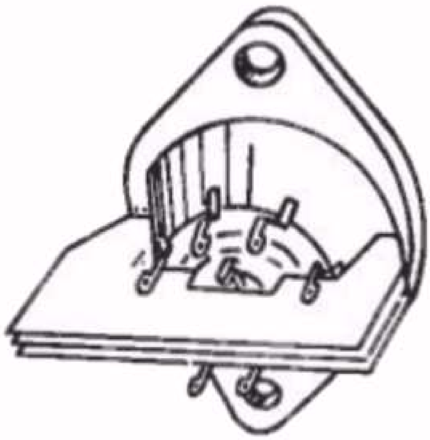


Principe-schema van een H.F. versterktrap met penthode.

Fig. 9

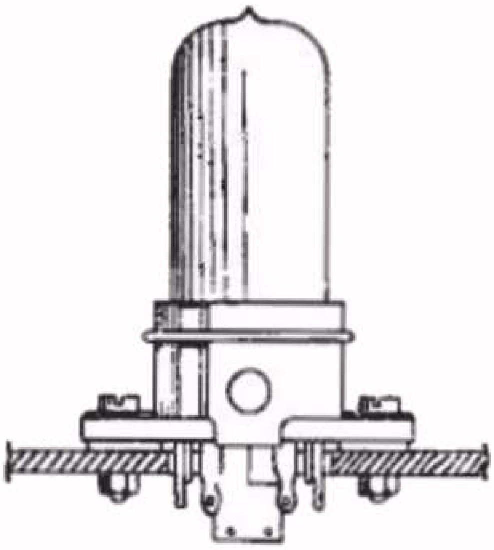
rooster moet zo groot zijn, dat deze practisch een kortsluiting vormt voor de H.F. wisselspanningen. Een practische waarde voor deze condensator is ca. 10.000 pF (voor een frequentie van 1,5 MHz, overeenkomende met een golflengte van 200 m, bedraagt X_C ca. 10 Ohm).

Deze zeer lage capaciteit tussen anode en rooster van 0,002 pF, heeft men bereikt door in de buis een afscherming tussen de anode en het stuurrooster aan te brengen. Het zal duidelijk zijn, dat deze zeer geringe capaciteit niet door uitwendige parasitaire capaciteiten mag worden vergroot. Daarom wordt dikwijls ook uitwendig een afscherming tussen het stuurrooster en de anode aangebracht. In fig. 10 zien we hiervan een voorbeeld bij een Rimlockbuis. Deze afscherming wordt zodanig aangebracht, dat de onderdelen die met de anode



Schets van het onderaanzicht van een buishouder, waarbij een extra afschermplaatje is aangebracht tussen de pennen van de anode en het stuurrooster, voor het behoud van een kleine anode-roostercapaciteit.

Fig. 10

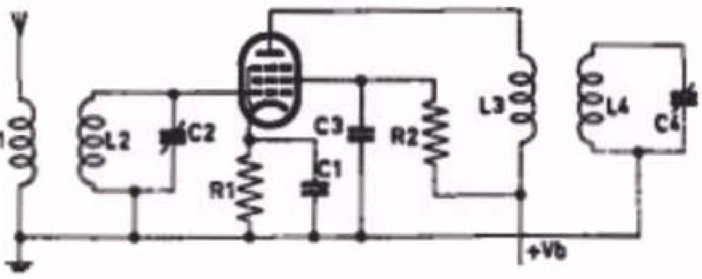


Schets van de montage van een Rimlockbuishouder op het chassis.

Fig. 11

en het stuurrooster zijn verbonden, elkander niet "zien". Bovendien is het bij de Rimlockbuis belangrijk dat de buishouder een goed electrisch contact maakt met het chassis (dus met aarde). In fig. 11 kunt U dit duidelijk zien.

In fig. 12 is het principeschema van een volledige H.F. trap getekend. De antenne is op inductieve wijze met de eerste afstemkring gekoppeld. De H.F. wisselspanning over deze kring wordt door de pen-

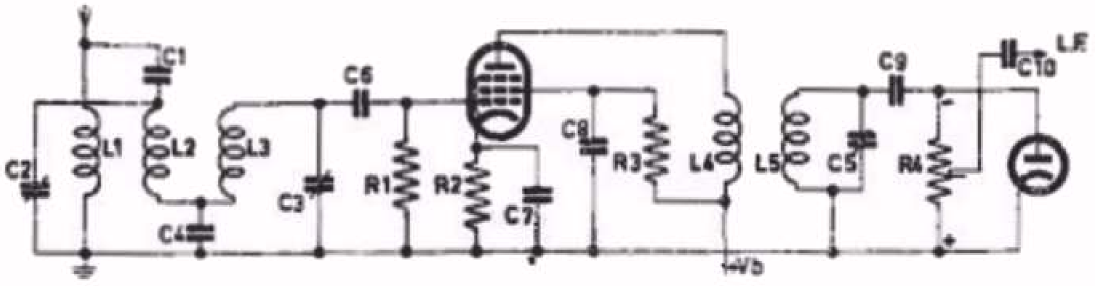


Principeschema van een H.F. versterktrap met penthode. De eerste afstemkring is inductief met de antenne en de tweede afstemkring inductief met de anodeketen gekoppeld.

Fig. 12

thode versterkt en via de inductieve koppeling tussen L3 en L4 op de tweede afstemkring L4 - C4 overgebracht. Zoals wij in les 11 reeds hebben aangestipt, zijn twee kringen meestal niet voldoende om een goede selectiviteit, d.w.z. een goede scheiding van de verschillende zenders, te verkrijgen. Hiervoor zijn minstens 3, en liefst 4, kringen nodig.

Het schema in fig. 13 geeft het H.F. gedeelte + detector van een ontvanger met drie afgestemde kringen weer. Hierbij is in de roosketen van de H.F.versterkbuis een capacitief gekoppeld bandfilter opgenomen, dat inductief en door middel van C1 capacitief met de



Schema van een H.F. versterktrap + detector. In de antenneketen zijn twee afstemkringen als een capacitief gekoppeid bandfilter geschakeld. Dit bandfilter is op inductieve en op capacitieve wijze met de antenne gekoppeld.

Fig. 13

antenne is gekoppeld. Dit bandfilter bestaat uit de twee kringen L2-C2 en L3-C3, die door C4 capacitief zijn gekoppeld. De detectordiode is met de derde afgestemde kring gekoppeld. In dit schema is de detector met parallelweerstand toegepast, aangezien de afgestemde kring geaard is en er de voorkeur aan wordt gegeven, ook de kathode van de diode te aarden. Over de weerstand R4 ontstaat door de detectie een gelijkspanning + een L.F. wisselspanning. De L.F. wisselspanning wordt van de potentiometer R4 via de koppelcondensator C10 aan het rooster van de L.F. versterkbuis toegevoerd.

In fig. 14 hebben wij het schema van een complete ontvanger getekend, waarin de verschillende gegevens uit de vorige lessen en deze les zijn verwerkt. Het H.F. gedeelte is in principe gelijk aan het schema van fig. 13. Er zijn 3 afstemkringen: L2-C2, L3-C5 en L5-C10. Daar er naar gestreefd wordt zo weinig mogelijk bedieningsknoppen te hebben, worden de afstemcondensatoren op één as gekoppeld (zie les 8 par. 44a). De drie afstemkringen moeten voor iedere stand van de drievoudige afstemcondensator op een gelijke frequentie zijn afgestemd. Zonder meer is dit niet het geval, daar parallel aan deze condensatoren, C2, C5 en C10, zich capaciteiten bevinden die worden gevormd door de capaciteit tussen de electroden van de buizen en de bedradingscapaciteiten. Deze capaciteiten zullen voor de drie kringen meestal verschillend zijn. Van de eerste kring kan zij b.v. 10 pF zijn, van de tweede kring 15 pF en van de derde kring 20 pF. Als het capaciteitsbereik van de variabele condensator 20 - 500 pF is, zou het capaciteitsverloop door deze parasitaire capaciteiten voor de drie kringen verschillend zijn. Met de bovengenoemde waarden zou het capaciteitsverloop van de drie kringen bv. worden: 30 - 510 pF, 35 - 515 pF en 40 - 520 pF. Om nu een gelijk verloop van de capaciteit te verkrijgen worden parallel aan de afstemcondensatoren trimmers geschakeld. Deze trimmers worden zodanig afgeregeld, dat de totale minimumcapaciteit van de kringen gelijk is.

De totale capaciteit van de drie afstemkringen is nu in iedere stand van C2-C5-C10 gelijk. Als de spoelen L2, L3 en L5 gelijke zelfinducties hebben, wordt aan bovengenoemde eis voldaan.

De antenne is via de spoel L1 inductief en via de condensator C3

capacitief met de eerste kring van het bandfilter gekoppeld. Het op het stuurrooster komende signaal wordt door de EF 41 versterkt aangetroffen over de spoel L4. De automatische negatieve roosterspanning voor deze buis wordt verkregen door middel van de kathodeweerstand R2, die door de condensator C8 is ontkoppeld. In de schermroosterleiding van deze buis is een zodanige weerstand (R3) geschakeld, dat de schermroosterspanning ten opzichte van aarde ca. 100 V bedraagt. De condensator C9 zorgt ervoor dat het schermrooster voor de H.F. wisselspanningen is geaard.

De in de derde afstemkring door L4 geinduceerde wisselspanning wordt door middel van de, zich in de EBC 41 bevindende, diode gelijkgericht. De na de detectie ontstane L.F. wisselspanning staat over de potentiometer R4. Deze L.F. wisselspanning wordt via de koppelcondensator C13 aan het rooster van de EBC 41 toegevoerd. Dit rooster ontvangt verder via de roosterlekweerstand R5 een negatieve spanning van de weerstand R11 in de -leiding. Over de anodeweerstand R6 ontstaat een versterkte L.F. wisselspanning die via de koppelcondensator C15 op het stuurrooster van de eindbuis EL 41 wordt gebracht. Parallel aan de anodeweerstand van de EBC 41 is nog een condensator, C14, van ca. 100 pF geschakeld. Deze condensator dient voor de verwijdering van eventuele nog doorgedrongen H.F. wisselspanning. In serie met de anodeweerstand R6 is nog het ontkoppelfilter R7-C16 opgenomen. De eindbuis EL 41 levert de L.F. energie via de aanpassingstransformator L6-L7 aan de luidspreker af. Parallel aan de primaire wikkeling van de aanpassingstransformator is het filter C18-R10 geschakeld, dat als toonregelaar dienst doet. De anodespanning van de EL 41 wordt betrokken van de buffercondensator C21. De schermroosterspanning van deze buis en de voedingsspanningen voor de andere buizen worden van de tweede afvlakcondensator C20 afgenomen. Op deze wijze wordt voorkomen dat in de afvlakweerstand R12 een te groot spanningsverlies ontstaat.

SAMENVATTING

1. Een oscillator is een schakeling die een ongedempte trilling opwekt. Deze wordt verkregen door de anodeketen van een triode zodanig met de roosterketen te koppelen dat de teruggekoppelde spanning in faze is met de oorspronkelijke roosterwisselspanning.

2. Deze terugkoppeling kan zowel op inductieve wijze als op capacitieve wijze geschieden. Een voorbeeld van een oscillator met capacitieve terugkoppeling is de T.P.T.G. oscillator (Tuned Plate Tuned Grid).

3. Een stabiel oscilleren wordt verkregen door gebruikmaking van een roostercondensator en lekweerstand.

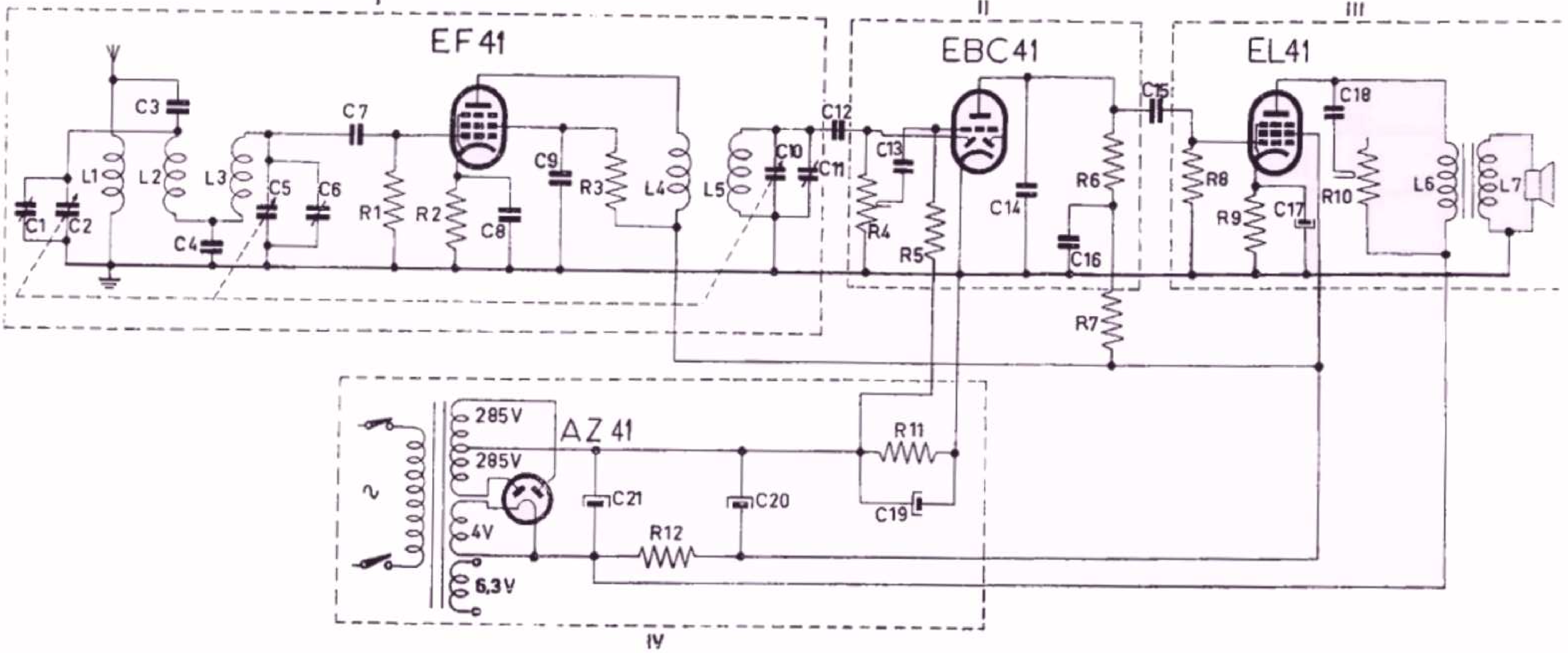
4. De triode is niet geschikt als H.F. versterker wegens de te hoge anode-roostercapaciteit.

5. De anode-roostercapaciteit wordt verkleind door een schermrooster tussen stuurrooster en anode aan te brengen. Het schermrooster ontvangt een positieve spanning en wordt voor de H.F. wisselspanningen via een condensator met aarde verbonden.

6. In de H.F. versterker worden afgestemde kringen als koppelelementen gebruikt.

7. Bij éénknopsafstemming moeten de spoelen van de afstemkringen gelijke zelfinducties hebben.

8. Capacitieve verschillen van de afstemkringen worden met behulp van trimmers gelijk gemaakt.



Principeschema van een "rechtuit"-ontvanger voor wisselstroomvoeding.

I H.F. trap

II Detector + L.F. trap

III Eindtrap + luidspreker

IV Voedingsgedeelte

CONDENSATOREN:

C1 = max. 30 pF (trimmer)
C2 = max. 500 pF
C5 = max. 500 pF } drievoudige afstemcondensator)
C10 = max. 500 pF
C3 = 10 pF (keramische condensator)
C4 = 40.000 pF (rolblokcondensator)
C6 = max. 30 pF (trimmer)
C7 = 100 pF (keramische condensator)
C8 = 50.000 pF (rolblokcondensator)
C9 = 50.000 pF (rolblokcondensator)
C11 = max. 30 pF (trimmer)
C12 = 100 pF (keramische condensator)
C13 = 10.000 pF (rolblokcondensator)
C14 = 100 pF (keramische condensator)
C15 = 20.000 pF (rolblokcondensator)
C16 = 50.000 pF (rolblokcondensator)
C17 = 100 μF-12½V (electrolytische condensator)
C18 = 50.000 pF (rolblokcondensator)

CONDENSATOREN:

C1 = max. 30 pF (trimmer)
C2 = max. 500 pF
C5 = max. 500 pF } drievoudige afstemcondensator)
C10 = max. 500 pF
C3 = 10 pF (keramische condensator)
C4 = 40.000 pF (rolblokcondensator)
C6 = max. 30 pF (trimmer)
C7 = 100 pF (keramische condensator)
C8 = 50.000 pF (rolblokcondensator)
C9 = 50.000 pF (rolblokcondensator)
C11 = max. 30 pF (trimmer)
C12 = 100 pF (keramische condensator)
C13 = 10.000 pF (rolblokcondensator)
C14 = 100 pF (keramische condensator)
C15 = 20.000 pF (rolblokcondensator)
C16 = 50.000 pF (rolblokcondensator)
C17 = 100 μF-12½V (electrolytische condensator)
C18 = 50.000 pF (rolblokcondensator)

C19 = 100 μF-12½V (electrolytische condensator)
C20 = 50 μF-320V (electrolytische condensator)
C21 = 50 μF-320V (electrolytische condensator)

WEERSTANDEN:

R1 = 1 Megohm (koolweerstand)
R2 = 300 Ohm (koolweerstand
R3 = 90.000 Ohm (koolweerstand)
R4 = 0,5 Megohm (logarithmische potentiometer)
R5 = 1 Megohm (koolweerstand)
R6 = 0,1 Megohm (koolweerstand)
R7 = 50.000 Ohm (koolweerstand)
R8 = 0,7 Megohm (koolweerstand)
R9 = 170 Ohm (koolweerstand)
R10 = 50.000 Ohm (variabele weerstand)
R11 = 250 Ohm (koolweerstand)
R12 = 1200 Ohm (draadgewonden weerstand)

Fig. 14

VRAGEN EN VRAAGSTUKKEN

1. Van de H.F. penthode UF 41 wordt het schermrooster via een weerstand Rg2 op de voedingsspanning van 170 V aangesloten. De schermroosterspanning (ten opzichte van aarde) moet 100 V bedragen. Als bij deze spanning een schermrooster van 1,75 mA loopt, hoe groot moet dan de weerstand Rg2 zijn?.

2. Verander het schema van fig. 14 zodanig, dat de negatieve roosterspanning voor alle buizen betrokken wordt van weerstanden in de -leiding. Gegeven is:

   totale stroom in de -leiding: 50 mA
   negatieve roosterspanning voor de EF 41: -2,5 V.
   negatieve roosterspanning voor de EBC 41: -1,4 V.
   negatieve roosterspanning voor de EL 41: - 7 V.
   Vraag: hoe groot moeten de weerstanden in de -leiding zijn? En voor welk vermogen moeten zij geschikt zijn?

3. Wat zal er gebeuren, als in het schema van fig. 14:

   a) de primaire wikkeling van de luidsprekertransformator onderbroken wordt?

   b) de condensator C9 sluiting heeft?

80. De service-oscillator

We hebben in de voorgaande 5 lessen de gehele opbouw van de cascadeontvanger behandeld. Het is nuttig om nu eens te bekijken, welke apparatuur we nodig hebben voor het goed afregelen van deze ontvanger. Daarnaast is het goed te weten, hoe of deze hulpapparaten werken en hoe zij bediend moeten worden. Niets is onpractischer dan het werken met apparatuur, waarvan we de werking niet begrijpen.

In deze les zullen wij nu bekijken hoe de apparatuur, nodig voor dit afregelen, werkt. Hoe de afregeling gedaan wordt, bespreken we in volgende lessen.
Voor het afregelen van een ontvanger hebben we nodig:
1. Een L.F. wisselspanningsmeter.
2. Een trimtransformator.
3. Een service-oscillator.

1. L.F. wisselspanningsmeter

Hiervoor is iedere behoorlijke wisselstroom-voltmeter met een meetbereik van bijv. 0 - 10 V bruikbaar. Een meter beschreven in les 11, fig. 22, leent zich hier goed voor.

2. Trimtransformator

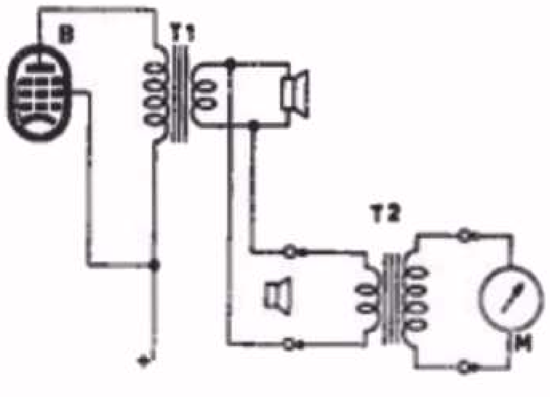
Om niet onnodig verbindingen in de ontvanger los te moeten maken, wordt de L.F. wisselspanningsmeter veelal op de extra luidsprekerbussen van de ontvanger aangesloten. De L.F. spanning is hier echter te laag om de meter behoorlijk te laten uitslaan. (De uitgangstransformator transformeert immers de anodewisselspanning van de eindbuis omlaag!) Daarom schakelen wij een transformator tussen, die de spanning omhoog transformeert. De Philips trimtransformator is voorzien van stekerpennen en stekerbussen; hij kan dus zonder moeite worden tussengeschakeld. De schakeling is in fig. 1 aangegeven.

3. Service-oscillator

Een service-oscillator is een instrument, dat ons te allen tijde een H.F. signaal (al of niet gemoduleerd) kan geven, waarvan we de frequentie en de sterkte zelf kunnen bepalen.

Welke eisen moeten aan een goede service-oscillator worden gesteld?

Deze zijn:
1. Frequentiebereik ca. 100 kHz - 30 MHz; dit is het frequentiegebied, dat beschikbaar is voor de normale omroep.
2. Maximale H.F. uitgangsspanning van ca. 100 mV.

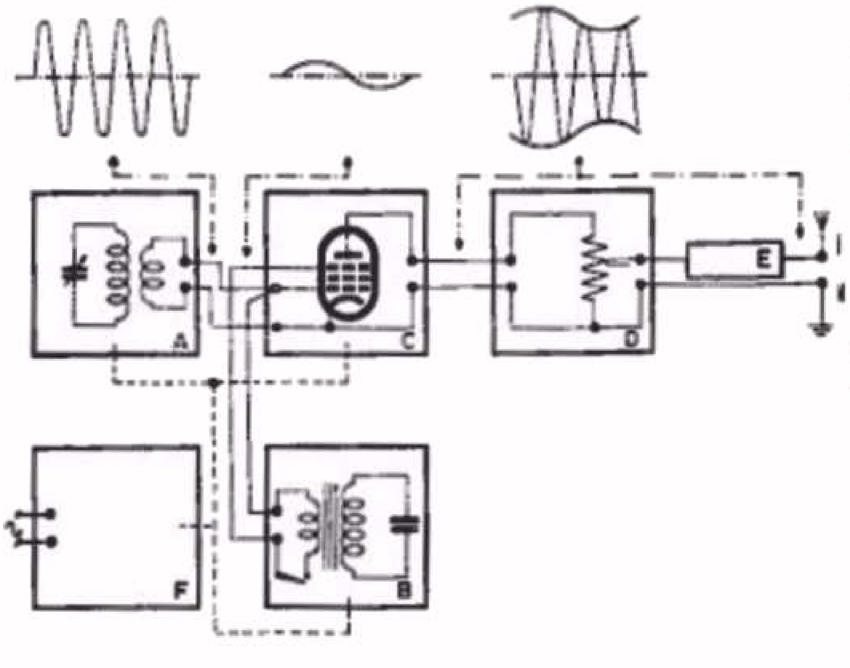


Schema ter illustratie van de aansluiting van een meter via een trimtransformator op de extra luidsprekerbussen van een ontvangtoestel.

B = Eindbuis van de ontvanger
T1 = Uitgangstransformator van de ontvanger.
T2 = Trimtransformator.
M = L.F. wisselspanningsmeter.

Fig. 1

3. Deze H.F. uitgangsspanning moet van practisch 0 V tot de maximale waarde kunnen worden geregeld.
4. De eenmaal ingestelde frequentie moet constant zijn, terwijl de aanwijzing van deze frequentie nauwkeurig moet zijn. Een afwijking van 1% van de ingestelde waarde is als toelaatbaar te beschouwen.
5. Normale netspanningsvariaties (+ en - 10%) mogen de frequentiënauwkeurigheid niet noemenswaard beïnvloeden.
6. Geen parasitaire straling van het H.F.-signaal: d.w.z. dat het H.F. signaal alleen via de daarvoor bestemde leidingen de ontvanger mag bereiken.
   Een goede controle op parasitair stralen is de volgende:
   De service-oscillator normaal in bedrijf stellen, doch de H.F. uitgangsklemmen kortsluiten (met een zo kort mogelijke verbinding).
   Op een ontvanger, aangesloten aan een normale antenne, mag nu het signaal van de service-oscillator niet - of zeer zwak - merkbaar zijn.



Blokschema van een service-oscillator.
A = H.F. generator, afstembaar van ca. 100 kHz tot ca. 30 MHz.
B = L.F. generator (frequentie is 400 Hz).
C = Modulator.
D = Verzwakker.
E = Kunstantenne.
F = Voedingsdeel.

Fig. 2

Hoe werkt nu zo'n service-oscillator?
Fig. 2 geeft daarvan een beeld in blokschema. Hierin zijn de essentiële delen sterk vereenvoudigd weergegeven.
Deze zijn:

A. *H.F. generator*

Dit is een generatorschakeling waarvan het schema in principe overeenkomt met dat van fig. 5 uit les 17. De frequentie van de opgewekte H.F. wisselspanning kan met behulp van een variabele condensator continu worden geregeld. Deze condensator is voorzien van een schaal, waarop de ingestelde frequentie is af te lezen in kHz en (of) MHz.
Evenals bij een ontvanger worden, voor de verschillende frequentiebereiken, met behulp van een schakelaar verschillende spoelen ingeschakeld.
Met A kunnen we dus iedere gewenste frequentie instellen.
Een deel van de H.F. spanning (draaggolf) wordt aan C toegevoerd.

B. L.F. generator

Dit is een L.F. generatorschakeling met inductieve terugkoppeling (zie les 17), afgestemd op een vaste frequentie. Internationaal is deze frequentie vastgesteld op 400 Hz. Deze L.F. spanning wordt ook aan C toegevoerd. Met een schakelaar kunnen we deze spanningstoevoer desgewenst onderbreken.

C. Modulator

Hierin wordt de van A afkomstige H.F. draaggolf, gemoduleerd met de L.F. spanning door B afgegeven. Aan de uitgang van de modulator C komt nu een gemoduleerd H.F. signaal te voorschijn. De L.F. wisselspanning van de L.F. generator B is zodanig gekozen, dat de modulatiediepte 30% (internationaal) is.

D. Verzwakker

Dit gemoduleerde H.F. signaal wordt aan een potentiometerschakeling D toegevoerd. Aan de uitgang daarvan hebben we nu een compleet signaal beschikbaar dat we naar eigen verkiezing kunnen instellen, en wel:

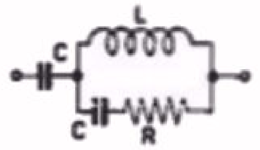
a. frequentie van de draaggolf

b-c. al of niet gemoduleerd met een L.F. spanning van 400 Hz.

d. gewenste sterkte van het signaal.

E. Kunstantenne

Een antenne, hoewel meestal uit een enkele rechte draad bestaande, heeft een zekere zelfinductie, weerstand en capaciteit. De waarden hiervan zijn afhankelijk van de lengte en hoogte van de antenne. Bij het ontwerpen van de antennespoelen van de ontvangers is gerekend op de zelfinductie, weerstand en capaciteit van een gemiddelde antenne (10 a 15 m lang). Bij het gebruik van de service-oscillator moeten we rekening houden met deze waarden. Daarom wordt, tussen de uitgang van de verzwakker D en de ontvanger nog een kunstantenne geschakeld. Deze kunstantenne is een combinatie van een zelfinductie, weerstand en capaciteit, waarvan de waarden overeenkomen met die van een gemiddelde antenne. Fig. 3 geeft hiervan het schema. Het ontvangtoestel ziet dus als het ware aan zijn antennebus een normale antenne.



Schema van een kunstantenne.

L = 20 µH
R = 400 Ω
C = 200 pF

Fig. 3

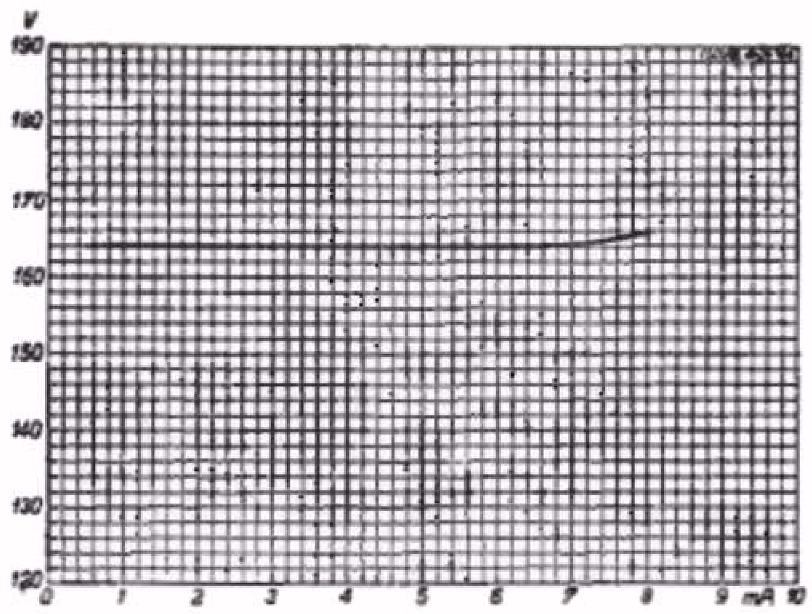
F. Voedingsdeel

Hier wordt de netspanning omgezet in de gloeispanning en de anode- en schermroosterspanning voor de delen A, B en C.

De anode- en schermroosterspanning voor A wordt dikwijls gestabiliseerd. Hierdoor zijn deze spanningen nagenoeg onafhankelijk van netspanningsvariaties. De opgewekte H.F. spanning blijft zodoende constant van sterkte en frequentie bij schommelingen van de netspanning.

Voor het stabiliseren, d.w.z. constant houden van een gelijkspanning, wordt veel gebruik gemaakt van neonbuizen. Dit zijn buizen gevuld met neongas, waarin zich twee electroden bevinden. Wordt aan deze electroden via een weerstand een bepaalde gelijkspanning gelegd, dan zien wij aan één der electroden een lichtverschijnsel.

In deze toestand blijkt nu dat de spanning over de buis practisch constant blijft bij verschillende waarden van de stroom door de buis.

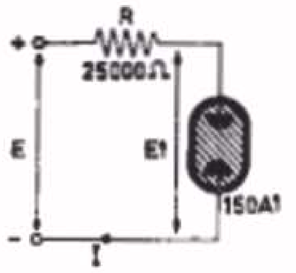


Spanning aan de neon-stabiliseerbuis 150A1 in afhankelijkheid van de stroom door de buis.

Fig. 4

Bij de Philips stabiliseerbuis 150 A1, blijkt dit op te gaan tussen 1 en 8 mA (zie fig. 4), waarbij de spanning over de buis ca. 164 V is.

Wij gaan nu eens de schakeling van fig. 5 bekijken. De spanning E is zo groot genomen dat I gelijk aan 4 mA is. De spanning over R is dus 100 V. Wij gaan nu E zoveel verhogen, dat I gelijk aan 6 mA wordt. Uit fig. 4 zien wij, dat daarbij de spanning E1 vrijwel niet varieert. De spanning over R neemt echter toe tot 150 V, zodat wij dus E met ca. 50 V hebben moeten verhogen. Hetzelfde geldt, in omgekeerde zin, bij verlaging van E tot I gelijk 2 mA is geworden.



Principe van de spanningsstabilisatie met een neonbuis.
E = fluctuerende spanning.
E1 = gestabiliseerde spanning.

Fig. 5

Wij zien dus, dat een variatie van E van + of - 50 V practisch geen invloed op E1 heeft. Op deze manier is het mogelijk de anode- en schermroosterspanning voor deel A van fig. 2 ongevoelig voor netspanningsvariaties te maken.

Wij kunnen ons nu afvragen, waarom de modulatiefrequentie op 400 Hz internationaal is vastgelegd? Bij andere waarden zouden wij ons doel, het afregelen (trimmen) van een ontvanger, toch ook kunnen bereiken?
Wij moeten nu even teruggaan naar les 11. In par. 56 fig. 7 hebben we gezien dat de aan de telefoon toegevoerde L.F. spanning toeneemt als de modulatiediepte toeneemt. In de ontwikkelingslaboratoria worden de prestaties van ontvangers gemeten. Men doet dit o.a. door de gemoduleerde H.F. spanning aan de antennebus te meten, die nodig is voor een bepaalde L.F. spanning aan de luidspreker. De grootte van deze H.F. spanning is dus afhankelijk van de modulatiediepte. Men doet dit met apparaten die, in principe, de schakeling van fig. 2 hebben. Om nu vergelijkbare waarden te meten heeft men internationaal afgesproken steeds een modulatiediepte van 30% te gebruiken. Om geheel uniform te zijn, heeft men tevens de modulatiefrequentie op 400 Hz vastgesteld.

Hoewel deze afspraken in de eerste plaats voor laboratorium-apparaten zijn gemaakt, heeft men deze overgenomen voor de service-oscillator.

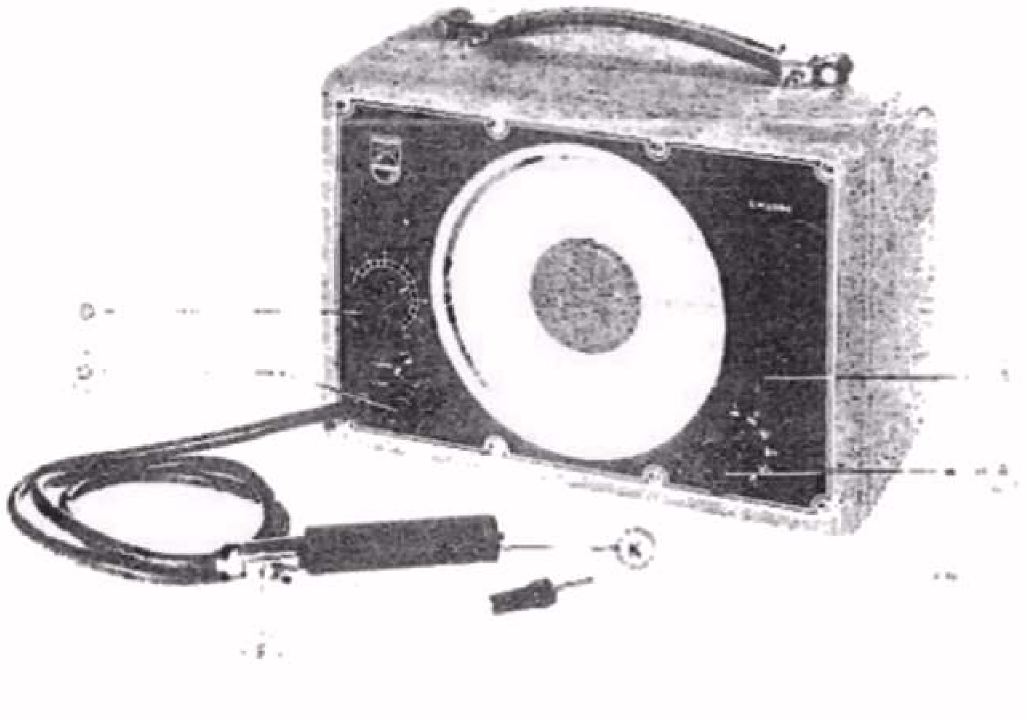
Afscherming

Zoals reeds gezegd is, mag het H.F. signaal de ontvanger alleen via de kunstantenne E bereiken. Als bijv. de H.F. oscillator A direct op de ontvanger kan inwerken, kunnen we de signaalsterkte niet volledig met de verzwakker D regelen.
Om dit te voorkomen zijn de delen A, C en D zeer nauwkeurig afgeschermd. Tevens is de verbinding van D naar E met speciale afgeschermde kabel uitgevoerd, om ongewenste ontvangst van omroepzenders te voorkomen. De verbinding tussen de kunstantenne E en de ontvanger moet, om dezelfde reden, zo kort mogelijk zijn. Om deze afscherming tot zijn recht te laten komen, moet de service-oscillator deugdelijk worden geaard (aardklem aan de achterzijde van het apparaat).

Nu we gezien hebben hoe een service-oscillator werkt, zullen wij twee uitvoeringen van Philips service-oscillatoren bespreken. Dit zijn de typen GM 2884 en GM 2883/02.

§ 1. De Philips service-oscillator GM 2884

Dit is een eenvoudige service-oscillator voor gebruik in radio-



De Philips Service-oscillator GM 2884.

A = Afstemknop van de H.F. generator.

A' = Bereikenschakelaar van de H.F. generator.

D = Continu-verzwakker voor H.F.- en L.F. signaal: tevens netschakelaar.

D' = Stappenverzwakker voor H.F. signaal, tevens omschakelaar van H.F.- of L.F. uitgangsspanning.

F = Afgeschermde steker, passende in kunstantenne K.

Fig. 6

werkplaatsen. Fig. 6 geeft hiervan een afbeelding. De letters in deze figuur zijn in overeenstemming met die van fig. 2.

A – de continu-afstemming van de H.F. generator.

A – de frequentiebereikschakelaar, waarmede het gehele frequentiebereik (0,1 tot 25 MHz) in 5 stappen kan worden omgeschakeld. Deze 5 stappen zijn:

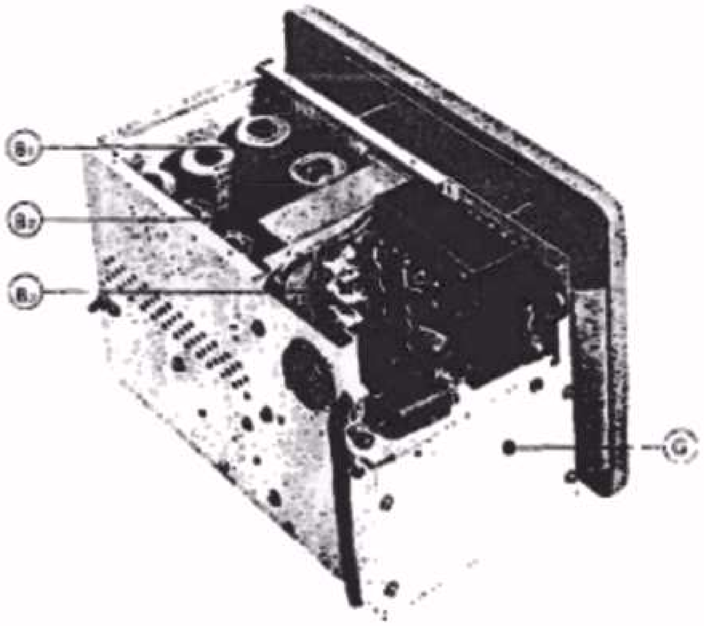
Stand A:	100 - 250	kHz
Stand B:	250 - 600	kHz
Stand C:	600 -1500	kHz
Stand D:	1,5 - 4	MHz
Stand E:	4 - 10	MHz
Stand F:	10 - 25	MHz

De letters A t/m F zijn tevens op de frequentieschaal aangegeven, om een vlot aflezen en instellen van deze schaal mogelijk te maken. De frequentienauwkeurigheid is beter dan 1%. Bij 10% netspanningsvariatie treedt een frequentievariatie van minder dan 0,2% op.

D – de continu verzwakker voor het H.F. signaal en het L.F. signaal (400 Hz), gecombineerd met de netschakelaar. De maximale H.F. spanning is ca. 100 mV.

D' – Hiermede wordt de H.F. uitgangswisselspanning in stappen geregeld. In de meest rechtse stand hiervan wordt de modulatiespanning aan de uitgangskabel doorgegeven. Met potentiometer D kan deze L.F. spanning dan worden geregeld van 0 - 5 V. Aan de linkerzijde van het apparaat bevindt zich een schakelaar waarmede de modulatie kan worden uitgeschakeld met behulp van een schroevendraaier.

Voor normaal gebruik dient deze schakelaar steeds ingeschakeld te zijn. Fig. 7 toont het inwendige van dit apparaat, waarbij de inwen-



Inwendige van de Philips Service-oscillator GM 2884.

B1 = ECH21 (H.F. generator).

B2 = ECH21 (modulator en L.F. generator)

B3 = EZ2 (dubbelfazige gelijkrichter)

G = Schakelaar voor het uitschakelen van de modulatie (met behulp van een schroevendraaier).

Fig. 7

dige afscherming gedeeltelijk is weggenomen. Uit deze figuur zien wij dat de spoelen van de H.F. generator afzonderlijk zijn afgeschermd in metalen bussen en het geheel daarna nog van een afscherming is voorzien. Dit dient om onnodige straling te voorkomen, zoals in de inleiding van deze les reeds is gezegd. In fig. 8 is de kunst-

antenne, die bij dit apparaat wordt geleverd, afgebeeld. Deze kan zonder meer op de aansluitsteker F uit fig. 6 worden gestoken, waardoor de verbinding van de service-oscillator - kunstantenne - ontvangtoestel, ononderbroken is afgeschermd. Het is van belang, dat bij reparatie aan de afgeschermde kabel tussen service-oscillator en kunstantenne steeds gebruik wordt gemaakt van de oorspronkelijke materialen om deze afscherming te handhaven.

Tekening van de kunstantenne.

Fig. 8

82. De Philips service-oscillator GM 2883/02

De GM 2883/02 is een meer uitgebreide service-oscillator, die zowel voor normaal radio-servicewerk als wel voor eenvoudig laboratoriumwerk bruikbaar is. Van deze service-oscillator zijn ook exemplaren in de handel gebracht onder het typenummer GM 2883; voor gebruik in service-werkplaatsen verschillen zij in wezen niet veel. Bij deze beschrijving hebben wij ons alleen bepaald tot de laatste uitvoering GM 2883/02

De voordelen van dit apparaat ten opzichte van de GM 2884, voor gebruik in de service-werkplaats zijn:

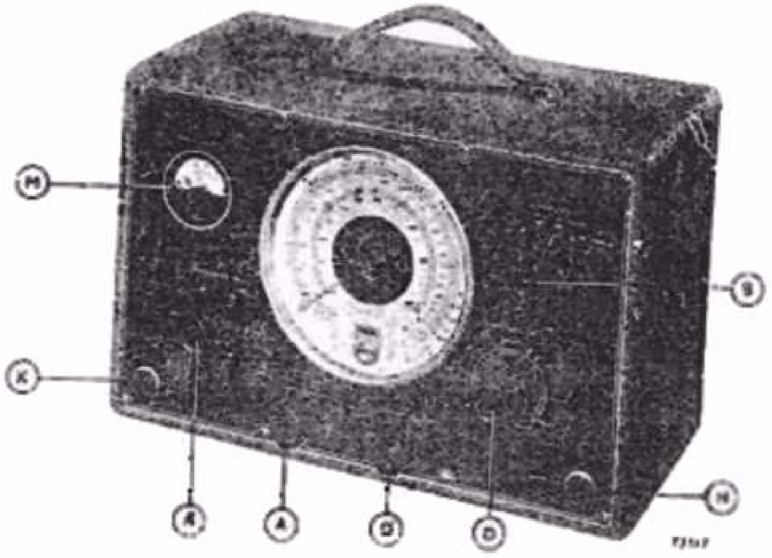
1. Grotere schaallengte, waardoor een nauwkeuriger instellen op de gewenste frequentie mogelijk is.
2. Een extra frequentiebereik van 400 tot 500 kHz. Dit geeft speciaal voor M.F. afregeling en selectiviteitsmeting aan M.F. versterkers grote voordelen. Over de M.F. versterkers, welke in superheterodyne ontvangtoestellen gebruikt worden, zal later meer worden gezegd.
   Door deze grotere afleesnauwkeurigheid zijn metingen met een nauwkeurigheid van 0,5 kHz uit te voeren.
3. De afgegeven H.F.- en L.F. spanningen zijn afleesbaar op een ingebouwde meter.
4. De continu-verzwakker van het H.F. signaal is direct in µV en mV afleesbaar.
5. De ingebouwde meter is bij het afregelen van radio-apparaten tevens bruikbaar als indicator van de uitgangsspanning.

Fig. 9 geeft een aanzicht van deze service-oscillator. De letters hierin komen weer overeen met die uit fig. 2 en wel:

A – continu-afstemming van het H.F. signaal.

A' – bereikenschakelaar, waarmee het gehele frequentiebereik (0,09 - 30 MHz) in 5 stappen omschakelbaar is, terwijl in de zesde stand het speciale bereik van 0,4 - 0,5 MHz is ingeschakeld.
De frequentieschaal heeft 3 schaalverdelingen A, B en C, welke gebruikt worden op de volgende manier:

Bereik	0,09	tot	0,3	MHz	schaal	$\frac{B}{10}$
Bereik	0,27	tot	1	MHz	schaal	$\frac{A}{10}$
Bereik	0,9	tot	3	MHz	schaal	B
Bereik	2,7	tot	10	MHz	schaal	A
Bereik	9	tot	30	MHz	schaal	B x 10
Bereik	0,4	tot	0,5	MHz	schaal	C



De Philips Service-oscillator GM 2883/02

A = Afstemknop van de H.F. generator.

A' = Bereikenschakelaar van de H.F. generator

R = Modulatieschakelaar - Netschakelaar.

D = Geijkte continu-verzwakker voor het H.F. signaal.

D' = Regelaar voor H.F.- en L.F. spanning (afleesbaar op meter M).

H = H.F. uitgang.

K = L.F. uitgang

M = Meter voor aanwijzing van de H.F.- en L.F. spanning.

Fig. 9

Hierbij is de frequentie-nauwkeurigheid beter dan 1% (voor het bereik 0,4 - 0,5 MHz beter dan 1 kHz); de frequentievariatie bij 10% netspanningsvariatie is kleiner dan 0,02%.

B — de modulatieschakelaar, gecombineerd met de netschakelaar. Deze heeft 4 standen:

Stand 1: apparaat is uitgeschakeld.

Stand 2: apparaat is ingeschakeld, doch geen modulatie in deze stand. Er wordt dus een ongemoduleerd H.F. signaal afgegeven.

Stand 3: apparaat is ingeschakeld, de modulatiefrequentie is 400 Hz.

Stand 4: apparaat is ingeschakeld, de modulatiefrequentie is 2500 Hz. Voor ons doel wordt stand 3 van deze schakelaar het meest gebruikt.

D — de geijkte continu-verzwakker; de ijking hiervan geldt voor het geval dat meter M met behulp van D' op 100 schaaldelen is ingesteld. Met deze continu-verzwakker kan het H.F. uitgangssignaal geregeld worden van 0 - 100 mV.

D'— instelling van de H.F.- of L.F. spanning. De afgegeven L.F. spanning kan op de meter worden afgelezen.

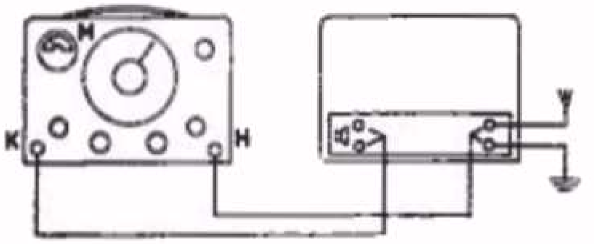
H — aansluitbus voor de afgeschermde verbindingskabel met het radiotoestel. Hiervan wordt dus de gemoduleerde H.F. spanning afgenomen.

K — aansluitbus voor het afnemen van de L.F. spanning (frequentie gelijk aan de modulatiefrequentie). De waarde hiervan is met behulp van D' instelbaar van 0 - 1 V.

Voor de aansluiting van de bussen H en K worden speciale snoeren meegeleverd. De kunstantenne, die hierbij gebruikt wordt, is dezelfde als bij het apparaat GM 2884.

Het gebruik van de meter M als indicator van de uitgangsspanning.

De schakeling hiervan is in fig. 10 aangegeven.



Aansluitschema bij gebruik van M als uitgangsspannings-indicator bij het afregelen van een ontvanger.

Fig. 10

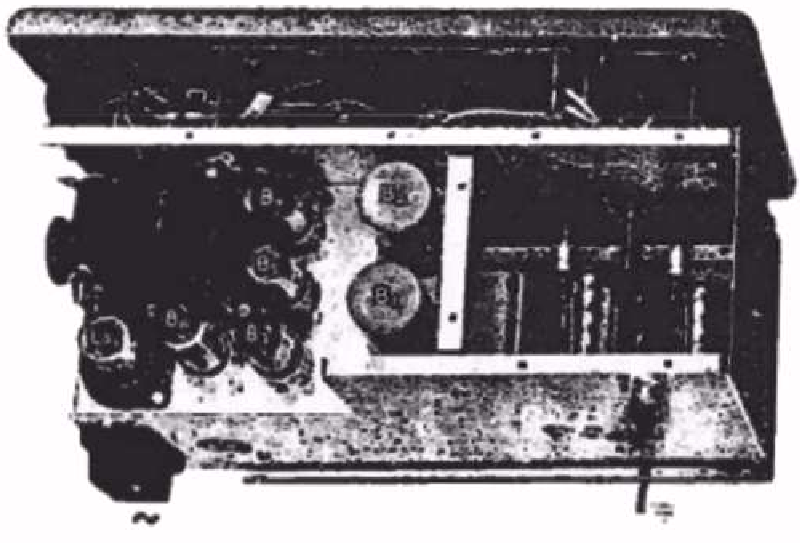
ATTENTIE

Om dit te kunnen doen is het nodig dat:

1. het radiotoestel voorzien is van een laagohmige extra luidsprekeraansluiting.
2. U-apparaten (voor gelijk- en wisselspanningsnetten) via een scheidingstransformator aangesloten zijn op het electriciteitsnet. Hierover wordt in een latere les meer gezegd.

Het gemoduleerde H.F. signaal wordt via de kunstantenne aan de antenne- en aardbus van het radioapparaat toegevoerd. De aansluitbus K wordt aan de extra luidsprekerbussen verbonden. Hierdoor zal de meter M op 0 terugvallen. Het H.F. signaal, dat aan de ontvanger wordt toegevoerd, blijft hierdoor echter onveranderd. Bij afregeling van de radio-ontvanger geeft de meter M de L.F. uitgangsspanning aan. (Het kan nodig zijn de aansluitingen aan de extra luidsprekerbussen om te draaien, om de meter te doen uitslaan). Over de techniek van het afregelen van ontvangtoestellen zal in een latere les nog verder worden gesproken.

Tenslotte geven wij in fig. 11 nog het inwendige van dit apparaat. Hierbij is weer een gedeelte van de inwendige afscherming weggenomen.



Inwendige van de Philips Service-oscillator GM 2883/02
B1 = EF50 (H.F. generator)
B2 = EF50 (modulator)
B3 = EF41 (L.F. generator)
B4 = EF41 (L.F. versterker)
B5 = EF41 (L.F. versterker)
B6 = AZ41 (dubbelfazige gelijkrichter).
Bl = 150A1 (neon-stabilisee-...

SAMENVATTING

1. Een service-oscillator is een instrument, dat een H.F. signaal (al of niet gemoduleerd) kan geven, waarvan de frequentie en de sterkte kan worden geregeld.

2. De service-oscillator wordt gebruikt voor het afregelen van de afstemkringen van het ontvangtoestel.

3. De eisen, die aan een service-oscillator worden gesteld, zijn:
   a. De frequentie van de H.F. uitgangsspanning moet constant en de aanwijzing van de frequentie moet nauwkeurig zijn.
   b. De H.F. uitgangsspanning moet regelbaar zijn.
   c. Normale netspanningsvariaties mogen de frequentie-nauwkeurigheid niet noemenswaard beinvloeden.
   d. Het gemoduleerde signaal met een frequentie van 400 Hz moet 30% gemoduleerd zijn.

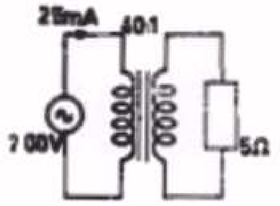
4. Voor het afregelen van een ontvanger zijn verder nodig:

   een L.F. wisselspanningsmeter
   een trimtransformator.

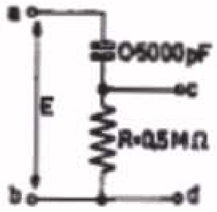
R E P E T I T I E

1. Een weerstand van 320 Ohm - 5 W moet worden vervangen door de parallelschakeling van weerstanden van 400 Ohm en 1600 Ohm. Voor welk vermogen moeten deze weerstanden geschikt zijn?

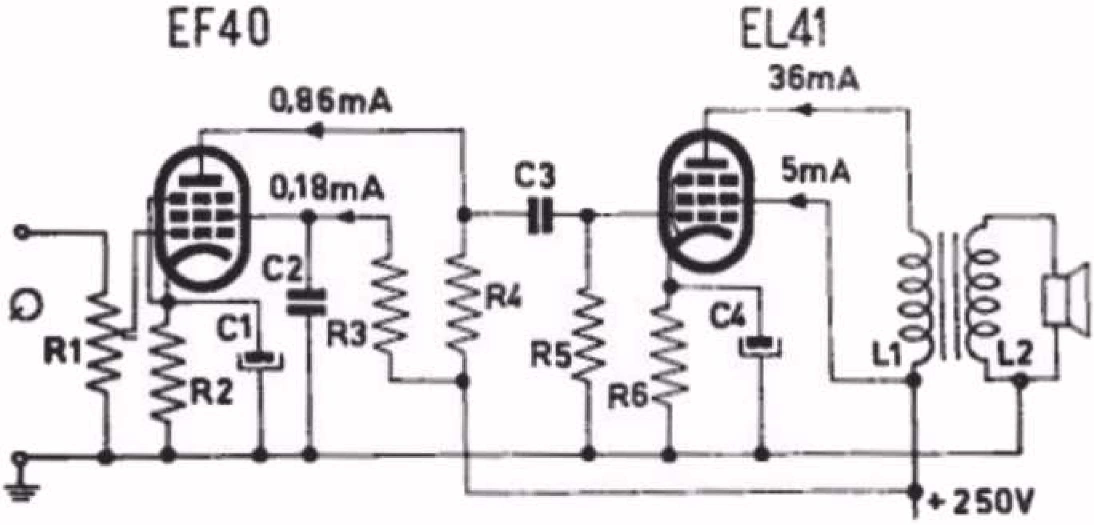
2. Aan de primaire wikkeling van een transformator wordt bij een wisselspanning van 200 V_{eff} een stroom van 25 mA_{eff} geleverd. Op de secundaire wikkeling is een weerstand van 5 Ohm aangesloten. De transformatieverhouding is 40 : 1.
Voor welk vermogen moet deze weerstand geschikt zijn?



3. Aan de klemmen a - b staat een wisselspanning E van een L.F. generator. Men maakt de frequentie eerst 30 Hz, daarna 30.000 Hz. Waarom is bij f = 30.000 Hz de spanning aan c - d practisch gelijk aan E, en waarom is de spanning aan c - d veel kleiner dan E bij f = 30 Hz?



4. Aan de hand van onderstaand schema de volgende vragen beantwoorden:
   a. Hoe groot zijn de anode- en schermroosterspanningen van de EF 40 en EL 41?
   b. Hoe groot is de negatieve roosterspanning van deze buizen?
   c. Wat zal het gevolg zijn als R3 doorbrandt, en dus onderbroken wordt?
   d. Wat bemerkt men als C4 defect geraakt (onderbreekt)?



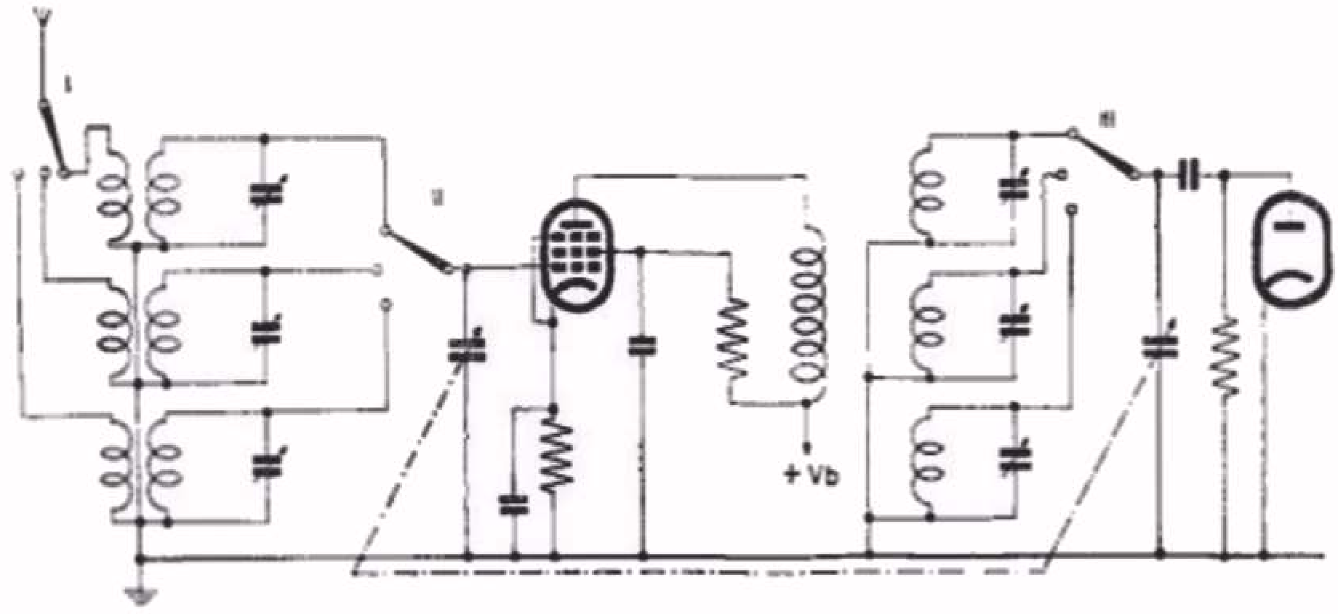
R1 = 0,5 Megohm
R2 = 1500 Ohm
R3 = 1,0 Megohm
R4 = 0,22 Megohm
R5 = 0,7 Megohm
R6 = 170 Ohm

C1 = 50 μF - 12,5 V
C2 = 50.000 pF
C3 = 20.000 pF
C4 = 100 μF - 12,5 V

83. H.F. Versterker voor meerdere golfbereiken

In les 10 hebben wij gezien, dat de ontvanger het liefst voor meerdere golfbereiken geschikt moet zijn. Voor de omroep zijn de belangrijkste golfgebieden:
lange golf : 800 - 2000 m (frequentiegebied 375 kHz - 150 kHz)
midden golf: 200 - 600 m (frequentiegebied 1500 kHz - 500 kHz)
korte golf : 15 - 50 m (frequentiegebied 20 MHz - 6 MHz)

Verder is in les 10 verteld, dat de frequentie-variatie per frequentiegebied ca. 1 : 3 bedraagt.
Voor elk frequentiegebied wordt een andere spoel in de afstemkring ingeschakeld. De grootte van deze spoel wordt dan zo gekozen, dat in combinatie met een variabele condensator met een maximum capaciteit van 500 pF een geheel golfgebied wordt bestreken. Voor het omschakelen van de verschillende spoelen dient de golfbereikschakelaar.



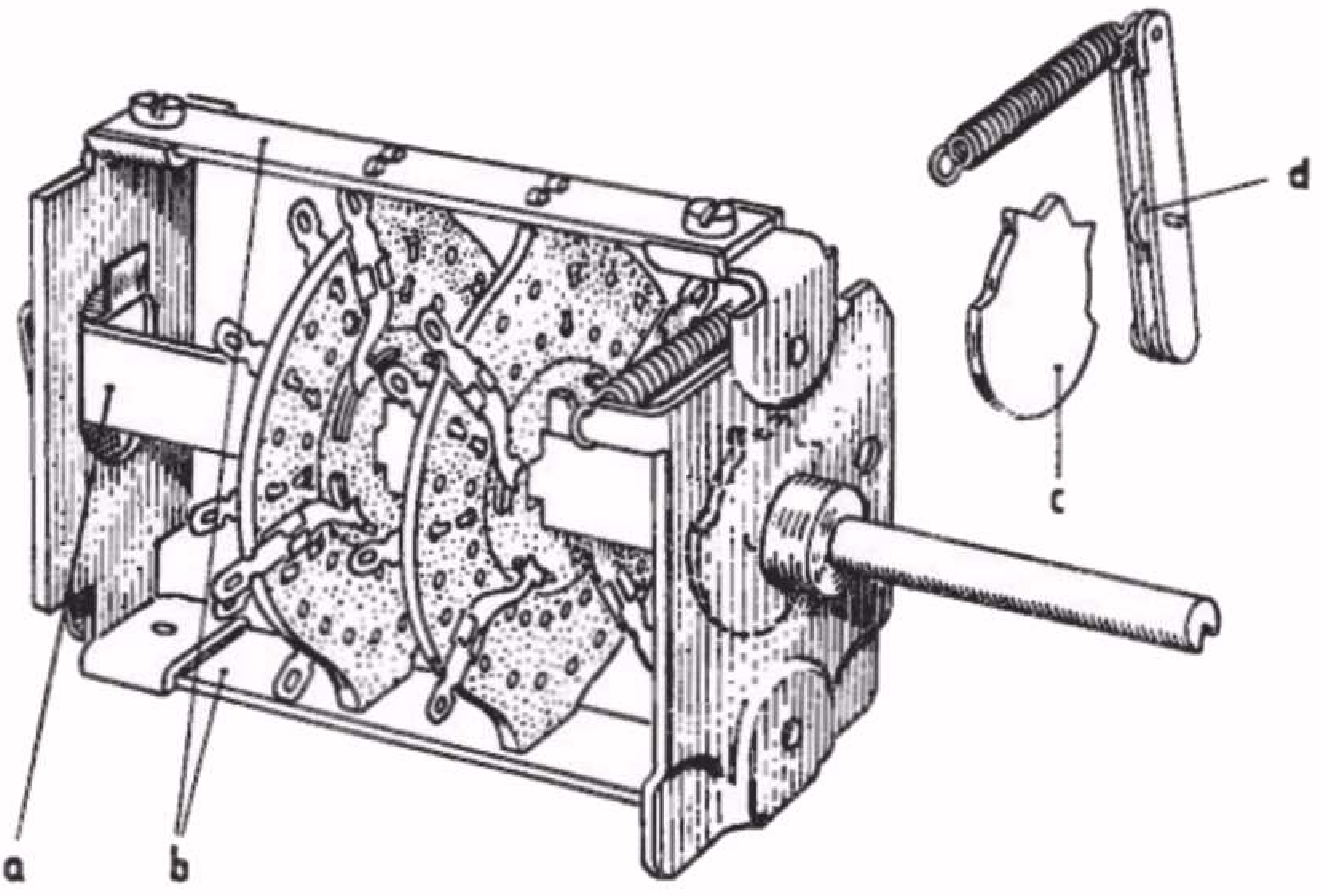
Schema van het H.F. gedeelte van een ontvanger voor 3 golfbereiken.
Fig. 1

In fig. 1 hebben wij een voorbeeld gegeven van een eenvoudig H.F. versterkergedeelte, dat geschikt is voor 3 golfgebieden. Wij hebben hierin de schakelaar door enkelvoudige schakelaars voorgesteld. Voor het lezen van het schema is dit inderdaad voldoende.

In de practijk kunnen de schakelingen dikwijls niet met enkelvoudige schakelaars worden uitgevoerd. Er worden n.l. niet alleen spoelen omgeschakeld, maar dikwijls worden niet in gebruik zijnde spoelen tevens kortgesloten. Dit is de oorzaak, dat de gebruikte schakelaars wat hun opbouw betreft, soms min of meer gecompliceerd zijn. Aangezien het principeschema van de ontvanger het belangrijkste gegeven van een Service-Documentatie is, wordt in het schema de schakelaar meestal zodanig getekend, dat men hieruit niet alleen de aansluitingen daarvan kan lezen, maar ook de mechanische opbouw kan herkennen.

84. De golfbereikschakelaar.

Voor de golfbereikschakelaar bestaan verscheidene constructies. Wij zullen ons uitsluitend bepalen tot de roterende schakelaar zoals

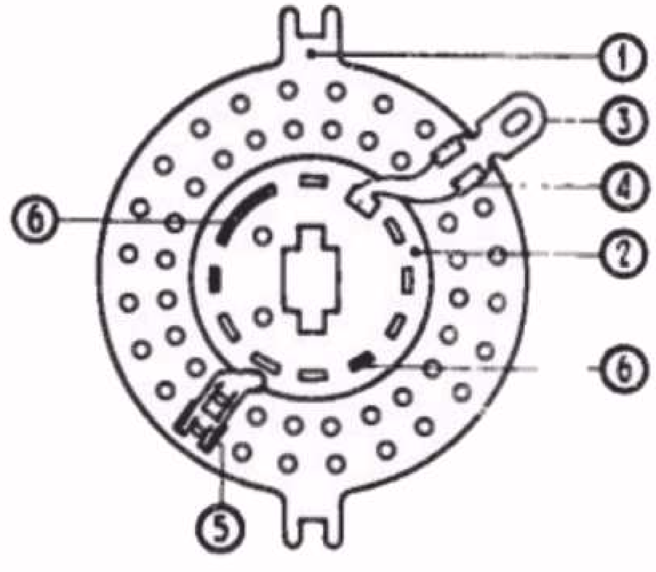


Schets van een golfbereikschakelaar.
De schakelsegmenten zijn bevestigd tussen de strippen b. Zij worden bediend door de as a, waarop tevens een arretschijf c is bevestigd. Zodra het rolletje d in een der uitsparingen van c snapt, bevindt de schakelaar zich in de vereiste positie.

Fig. 2

deze in de Philips ontvangtoestellen wordt gebruikt. Deze schakelaar bestaat uit verschillende segmenten of schakelaar platen (fig. 2), die alle door een rechthoekige as worden bediend. In fig. 3 is een segment apart getekend. Een dergelijk segment bestaat uit een vaste ring van isolatiemateriaal, de stator, (in fig. 3 pos. 1) en de draaiende rotor (pos. 2), eveneens van isolatiemateriaal. Aan de stator zijn contactveren (3) met krammetjes (4) bevestigd. De krammen (5) houden de rotor op de goede plaats. Tenslotte zijn in de rotor contactstukken en doorverbindingen (6) aangebracht.

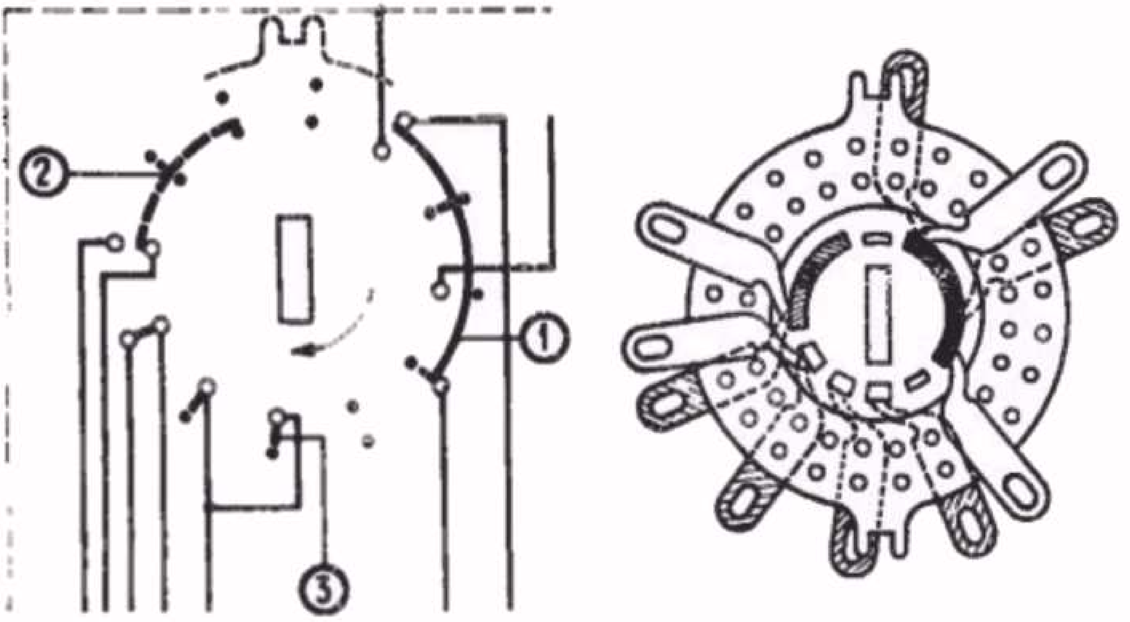
De schakelaar segmenten worden in het schema getekend, gezien vanaf de bedieningszijde, terwijl het chassis rechtop staat (hieraan dient men te denken bij reparatie van het toestel, aangezien men dan meestal het toestel op zijn kop zet). Het bovenste punt van de schakelaar



Schakelaarsegment.
1 = stator
2 = rotor
3 = contactveren
4 = krammetjes waarmede de contactveren zijn bevestigd.
5 = krammen die de rotor op de goede plaats houden.
6 = contactstukken.

Fig. 3

in het principeschema is het bovenste punt van de schakelaar in het apparaat. De schakelaar wordt getekend met de as in de meest linkse positie gedraaid. De voor- en achterzijde van de segmenten zijn resp. de zijde waar men vanaf de bedieningszijde tegenaan kijkt



a. Principeschema van de golfbereikschakelaar.
b. Uitvoering van het betreffende schakelaarsegment.

Fig. 4

en de andere zijde. De contactpunten van de veren, die op de voorkant van de stator zijn bevestigd, worden als open cirkeltjes in de buitenste ring van de schakelaar tekening aangegeven (fig. 4a). Waar geen contactpunten van veren aanwezig zijn, wordt een zwarte stip getekend. In totaal kunnen er 12 cirkeltjes in de buitenste ring worden getekend. Dit is ook het geval met de binnenste ring. Doorverbindingen op de voorkant van de rotor worden als getrokken lijnen dicht bij de buitenste ring aangegeven (zie fig. 4a pos. 1). Doorverbindingen op de achterkant van de rotor worden als gestippelde lijnen dicht bij de binnenste ring getekend (fig. 4a pos. 2). Contactstukjes worden als korte strepen tussen de binnenste en de buitenste ring getekend.

Ter verduidelijking van het principe van de schakelaar hebben wij in fig. 5 een schakelaar getekend in 4 posities. Elke positie wordt bereikt na de rotor een hoek van 30° te hebben gedraaid.*)
Links in de figuur zijn de schakelaarposities afgebeeld, rechts in de figuur zijn de overeenkomstige tekeningen, zoals die in het principeschema worden weergegeven, getekend.

Ter illustratie is in fig. 6 het H.F. gedeelte van een ontvanger met 3 golfbereiken voorgesteld. In fig. 7a-c zijn de schema's opnieuw getekend voor elk van de drie posities van de schakelaar. In

---

*) In enkele gevallen heeft de schakelaar een draaihoek van 90°. In de Documentaties van de ontvangtoestellen staat dit dan echter bij het schema vermeld. In dat geval moeten de verschillende rotorcontacten drie 30° posities verder geschakeld worden, om te zien welke elementen in het volgende golfgebied worden ingeschakeld.

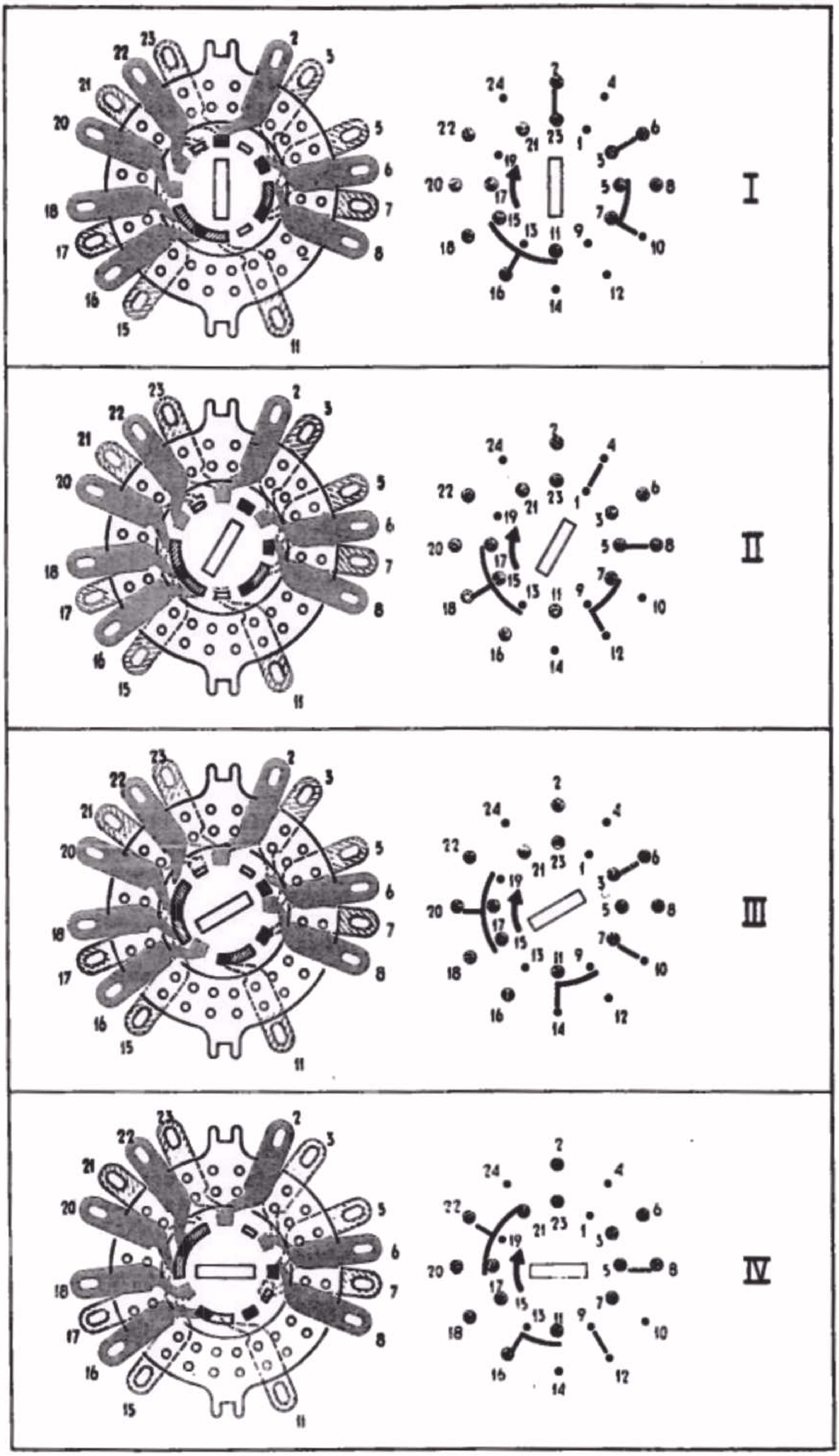
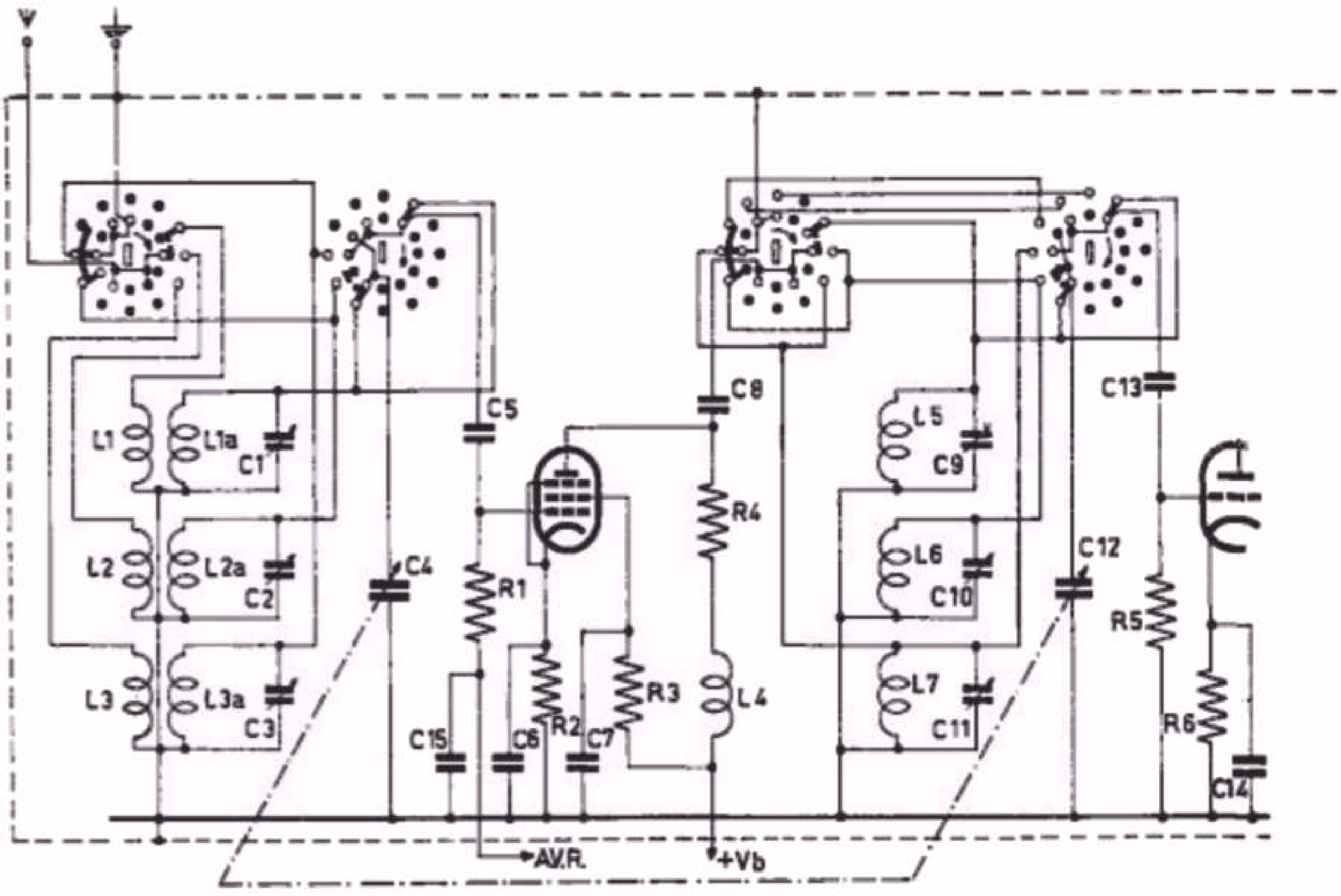


Fig.5



Schema van het H.F. gedeelte van een ontvanger met 3 golfbereiken met ingetekende golfbereikschakelaar.

Fig. 6

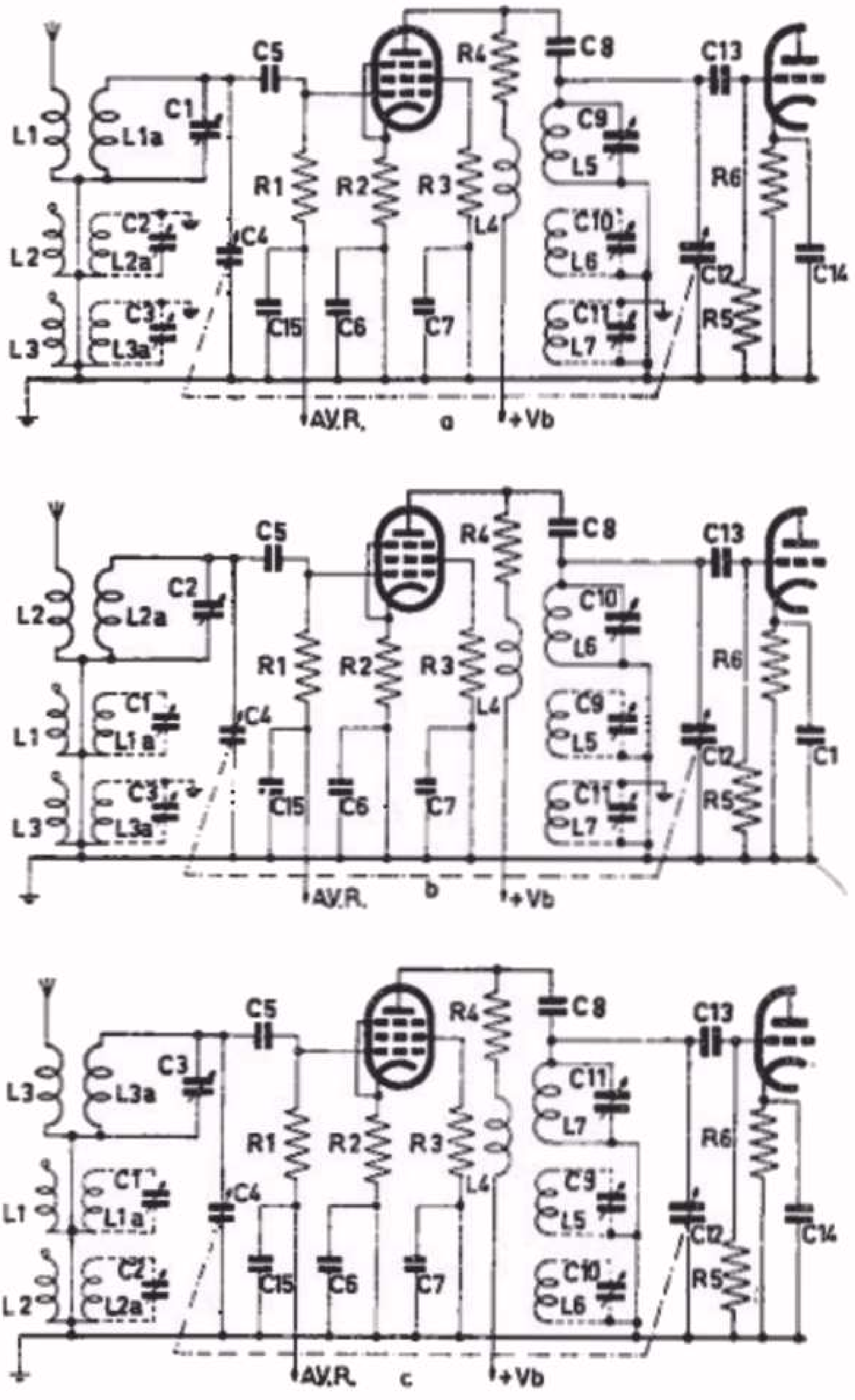
deze schema's zijn uitsluitend de kringen aangegeven die in de betreffende posities zijn ingeschakeld. De andere, buiten werking gestelde, kringen zijn gestippeld getekend.

Op het repareren van de golfbereikschakelaar komen wij nog in een latere les over mechanische constructies in de ontvanger terug. Een belangrijke wenk voor het onderhoud van de schakelaar willen wij niet achterwege laten.

Hoewel de contacten van de Philips golfbereikschakelaar van zilver of verzilverd zijn, kan het een enkele maal voorkomen dat kraken optreedt bij het gebruik van een schakelaar. De contactlippen en de contactstukken op de stator resp. rotor van de segmenten moeten dan schoongemaakt en ingevet worden. Het schoonmaken mag uitsluitend geschieden met speciale schakelaar-olie (door de Philips Service-Afdeling wordt deze schakelaar-olie onder het codenummer A9 865 40.0 geleverd).

85. Fading of sluiering

Wij hebben in vorige lessen reeds vermeld, dat de radiogolven door de zendantenne worden uitgestraald en zich voortplanten, en dat deze golven in de ontvangantenne een spanning induceren. Wij hebben ons hierbij niet ingelaten op het feit hoe deze voortplanting geschiedt.
Om de aarde bevindt zich de dampkring. Nu vinden vooral in de dampkringlagen, die op een hoogte van 100 tot 300 km voorkomen, elec-



a. Het schema van fig. 6 voor het golfbereik I

b. Het schema van fig. 6 voor het golfbereik II

c. Het schema van fig. 6 voor het golfbereik III

Fig. 7

trische verschijnselen plaats, die hun ontstaan in het bijzonder aan de zon hebben te danken. Men noemt deze meer of minder electrische geleidende dampkringlaag *de ionosfeer*. Deze ionosfeer speelt een belangrijke rol bij de voortplanting van de radiogolven.

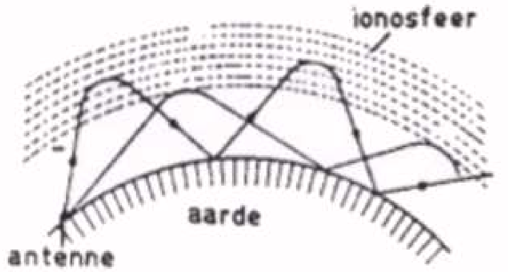
De radiogolven planten zich n.l. op tweeërlei wijze voort:

A. langs de aarde (de z.g. directe straling).

B. via terugkaatsing door de ionosfeer en de aarde (z.g. indirecte straling).

De radiogolven van het lange golfgebied en de zeer korte golven (die b.v. voor televisie worden gebruikt) planten zich hoofdzakelijk door directe straling voort en gedeeltelijk via de ionosfeer.

De radiogolven van het midden en korte golfgebied planten zich vooral via de indirecte straling voort. Dit is in principe in fig. 8 voorgesteld. De radiogolven worden als het ware onder invloed van de ionosfeer omgebogen. Zij bereiken daarna de aardoppervlakte en worden hierdoor weer teruggekaatst. Nu is de ionosfeer jammer genoeg geen stilstaand iets. Niet alleen is de hoogte bij dag en nacht verschillend, maar ook is zij vrijwel continu in beweging. Hierdoor is de hoek, waaronder de radiogolven worden afgebogen, steeds aan veranderingen onderhevig. Deze veranderingen kunnen een zodanige vorm aannemen, dat dit gedurende de ontvangst merkbaar wordt door het sterker en zwakker worden van het geluid. Soms kan het geluid zelfs geheel verdwijnen. Dit verschijnsel wordt aangeduid met 'sluiering' of met het Engelse woord 'fading'. De sluiering gaat daarbij dikwijls gepaard met een sterke vervorming van het geluid.

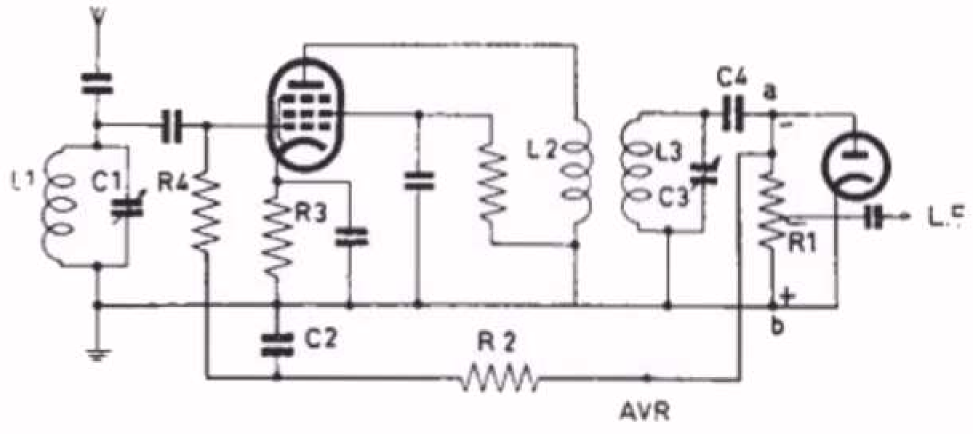


Principiële voorstelling van de afbuiging van de radiogolven door de ionosfeer en van de terugkaatsing door het aardoppervlak.

Fig. 8

86. Fading compensatie of automatische versterkingsregeling (A.V.R.)

De werking van de fading compensatie komt hierop neer dat het ontvangtoestel automatisch tracht een zelfde sterkte van het geluid te handhaven. Dit sluit tevens in dat het toestel bij gelijke stand van de volumeregelaar er naar streeft, zenders van verschillende sterkte even sterk weer te geven; daarom spreekt men gewoonlijk van automatische versterkingsregeling (afgekort A.V.R.).
Bij deze schakeling wordt ervan uitgegaan dat de versterking van het ontvangtoestel zodanig is ingesteld, dat een matig sterke zender nog op volle sterkte wordt weergegeven. Wordt nu, tengevolge van fading, de spanning op de antenne minder, dan stelt het toestel zich automatisch op een grotere versterking in, zodat toch weer dezelfde geluidsterkte geproduceerd wordt.

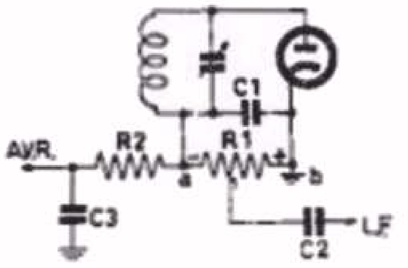


H.F. versterker + detectortrap. De negatieve spanning die na detectie over de weerstand R1 ontstaat, wordt via het ontkoppelfilter R2-C2 teruggevoerd naar het stuurrooster van de H.F. buis, ter verkrijging van automatische versterkingsregeling.

Fig. 9

Hoe dit wordt bereikt zullen wij aan de hand van fig. 9 nagaan. Hierin hebben wij een HF trap+de diode-detector getekend. Zoals wij uit vorige lessen hebben gezien, ontstaat over de detectorweerstand R1 een gelijkspanning, zodra over de afstemkring L3-C3 een H.F. spanning ontstaat. Deze gelijkspanning is des te sterker naarmate de H.F. spanning sterker is. Deze gelijkspanning wordt nu zodanig naar het stuurrooster van de H.F. versterkbuis teruggevoerd, dat het stuurrooster een grotere negatieve roosterspanning krijgt. Hierdoor neemt de steilheid van de H.F. versterkbuis af en dientengevolge ook de versterking.
Nu staat over de detectorweerstand R1 behalve de gelijkspanning ook een L.F. wisselspanning, afkomstig van de modulatie op de draaggolf. Als we de spanning over R1 zonder meer aan het rooster van de H.F. versterkbuis zouden terugvoeren, zouden ook de L.F. spanningvariaties op het rooster van deze buis terechtkomen. Deze variaties zouden de modulatie beinvloeden,hetgeen ongewenst is. Daarom wordt in de terugvoerleiding een filter R2-C2 opgenomen. De condensator C2 heeft een zodanige waarde, dat zijn reactantie voor de laagste frequentie nog klein is ten opzichte van de weerstand R2. (Practische waarden voor deze condensator en weerstand zijn 0.1 uF resp. 1 MΩ). Op deze wijze wordt de L.F. spanningsvariatie afgevlakt en komt op het stuurrooster van de H.F. versterkbuis uitsluitend de gelijkspanning.

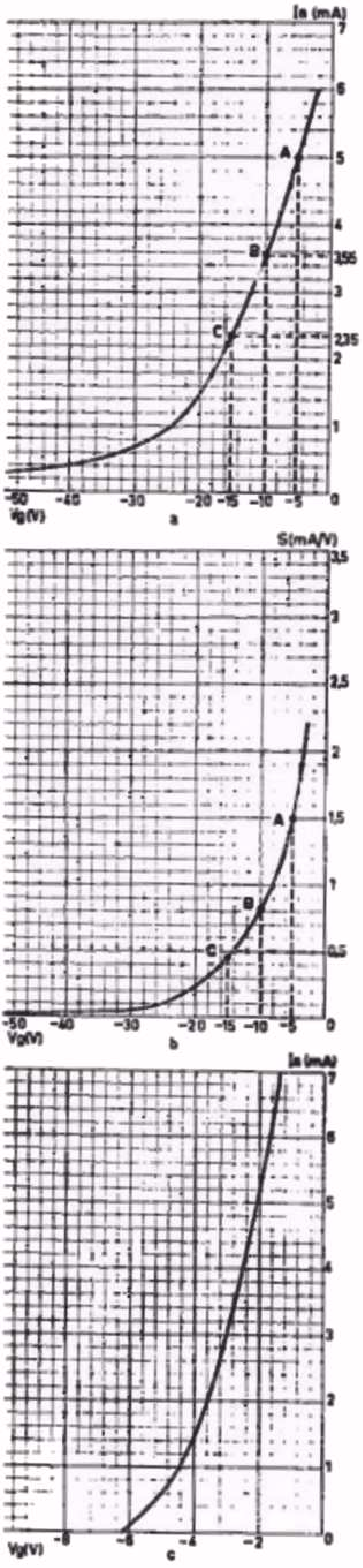
In fig. 9 is een detector met parallel weerstand getekend. Het spreekt wel haast vanzelf dat de automatische versterkingsregeling met een detector met serieweerstand (fig. 10) op dezelfde wijze werkt.



Principeschema van diode-detectortrap met serieweerstand. De spanning over de detectorweerstand R1 wordt gebruikt voor de automatische versterkingsregeling.

Fig. 10

Om deze automatische versterkingsregeling goed te laten verlopen, is het nodig, dat de steilheid van de Ia/Vg-karakteristiek van de H.F. versterkbuis continu kleiner wordt naarmate de negatieve roosterspanning toeneemt.
In fig. 11a is een Ia/Vg-karakteristiek getekend. Hierin hebben wij op 3 punten globaal aangegeven hoe groot de steilheid is. In punt a is de steilheid het grootst. In punt b bij een 2 maal zo grote negatieve roosterspanning is de steilheid kleiner en in punt c is de steilheid weer kleiner. Deze steilheid, afhankelijk van de negatieve roosterspanning, kan men eveneens in een karakteristiek vastleggen. Dit is gebeurd in fig. 11 b. Hieruit kan men onmiddellijk aflezen hoe groot de steilheid is bij een bepaalde negatieve roosterspanning. Het is nu voor een goede versterkingsregeling nodig dat de steilheid regelmatig afneemt met een toenemende negatieve roosterspanning. De penthoden die voor H.F. versterking worden gebruikt zijn dan ook zo geconstrueerd, dat hun steilheid regelmatig afneemt met een grotere negatieve roosterspanning. Omdat deze penthoden deel uitmaken van de schakeling voor de automatische geluidssterkteregeling, noemt men deze penthoden wel regelbuizen of regelpenthoden.
In fig. 11c hebben wij nog de Ia/Vg-karakteristiek afgebeeld van een normale H.F.penthode. Vergelijken wij de vorm van deze karakte-



a. Ia/Vg-karakteristiek van een regelpenthode. De punten a, b en c behoren bij verschillende negatieve roosterspanningen. In deze punten is de steilheid van de karakteristiek verschillend en wel kleiner, naarmate de negatieve roosterspanning groter is.

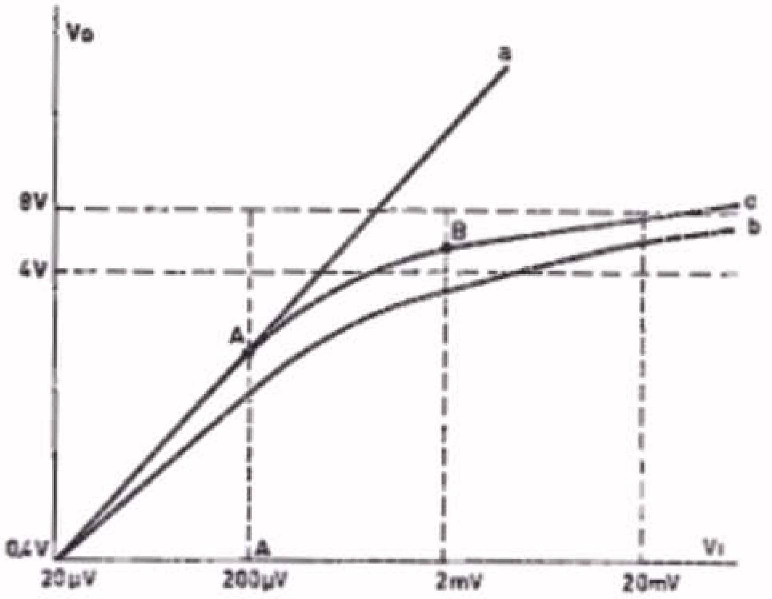
b. De steilheid van bovenstaande Ia/Vg-karakteristiek in afhankelijkheid van de negatieve roosterspanning.

c. Ia/Vg-karakteristiek van een normale H.F.penthode (zonder regeleigenschappen).

Fig. 11

ristiek met die van fig. 11a, dan is onmiddellijk zichtbaar, waarom een penthode met de karakteristiek van fig. 11c weinig geschikt is voor gebruik als regelpenthode.

De werking van de versterkingsregeling stelt men dikwijls voor door de regelkarakteristiek (fig. 12). Hierin wordt op de horizontale as het antennesignaal uitgezet, op de verticale as de uitgangsspanning van het toestel. Zonder automatische versterkingsregeling zou de karakteristiek a ontstaan. Met een toenemend antennesignaal stijgt de uitgangswisselspanning evenredig. Zodra echter versterkingsregeling aanwezig is, neemt de versterking af met een groter antennesignaal zodat dan de karakteristiek b ontstaat.



a. Karakteristiek van de uitgangswisselspanning van een ontvangtoestel zonder automatische versterkingsregeling in afhankelijkheid van de antennespanning (Regelkarakteristiek).

b. Regelkarakteristiek van het ontvangtoestel met automatische versterkingsregeling zonder vertraging.

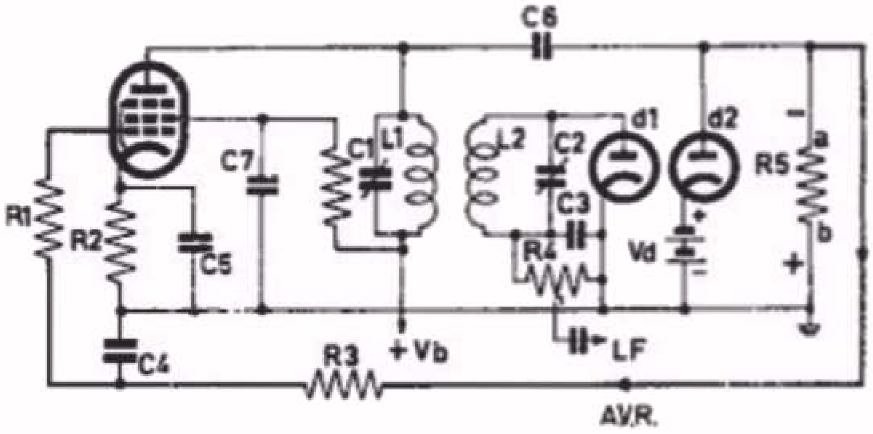
c. Regelkarakteristiek van het ontvangtoestel met vertraagde automatische versterkingsregeling.

Fig. 12

87. Vertraagde automatische versterkingsregeling.

Uit het voorgaande blijkt, dat zodra een draaggolf ontvangen wordt en dus een gelijkspanning (regelspanning) over de detectorweerstand ontstaat, de versterking van de H.F. buis verminderd wordt. Deze versterkingsregeling treedt dus ook op als een zwakke zender wordt ontvangen. Dit heeft tot gevolg, dat een zwakke zender dikwijls niet op volle sterkte gehoord wordt. Men zou de versterkingsregeling daarom het liefst zodanig uitvoeren, dat de zwakke zenders onverzwakt worden doorgegeven. Dit heeft gevoerd tot een oplossing waarbij de automatische versterkingsregeling pas in werking treedt nadat de ontvangen draaggolf een bepaalde sterkte overschreden heeft. Men duidt deze methode aan met vertraagde automatische versterkingsregeling. Omdat de ontvangen draaggolf als het ware een drempelwaarde moet overschrijden voordat de versterkingsregeling begint, noemt men deze methode ook wel gedrempelde versterkingsregeling.

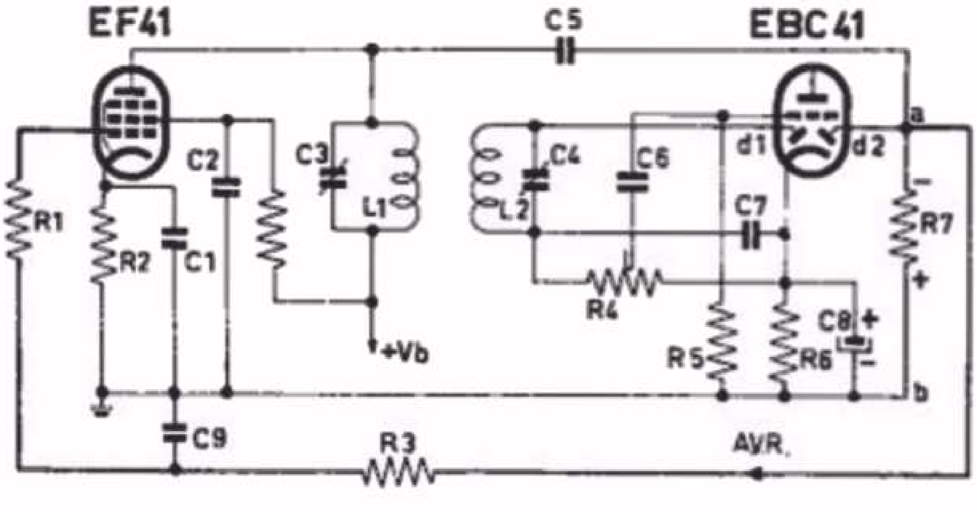
Om de vertraging in de versterkingsregeling te bereiken, wordt gebruik gemaakt van een tweede diode. In fig. 13 is de schakeling weergegeven. Hierin is de diode d1 de detectordiode. De diode d2 is via een kleine condensator C6 aangesloten op een van de laatste afstemkringen, terwijl de diode-anode via de batterij Vd een negatieve spanning ten opzichte van de kathode krijgt. Veronderstel dat de negatieve voorspanning Vd van de diode-anode 2 V bedraagt. Zolang



Principeschema van H.F. versterker + detector, waarin een tweede diode is aangesloten voor het verwezenlijken van de vertraagde automatische geluidsterkteregeling.

Fig. 13

er geen andere spanning op de diode komt, zal geen stroom door de diode lopen. Nu komt er een H.F. wisselspanning van de kring L1-C1 via de condensator C6 tussen de anode en de kathode van de diode. Zolang de amplitude van deze spanning kleiner is dan de negatieve voorspanning Vd, zal de anode van de diode negatief blijven en zal er dus geen stroom door de diode lopen. Zodra echter de amplitude van de H.F. wisselspanning groter wordt (bijv. 3V) dan de negatieve voorspanning Vd, dan zal gedurende de positieve amplitude de spanning op de anode van de diode eveneens positief worden (nl. 3-2 1V positief). In dat geval begint er door de diode stroom te lopen. Parallel aan de diode is de weerstand R5 geschakeld. De diodestroom loopt door deze weerstand en zal over deze weerstand een zodanige spanning doen ontstaan, dat punt a negatief wordt ten opzichte van punt b. De diodestroom, en dientengevolge ook de spanning over R5, zal des te groter worden naarmate de H.F. wisselspanning van de diode groter wordt. De spanning over R5 wordt nu als regelspanning gebruikt voor de H.F. versterkbuis. Deze regelspanning wordt dan via het ontkoppelfilter R3-C4 aan het stuurrooster van de H.F. versterkbuis toegevoerd.



Practische uitvoering van fig. 13 met gebruik van de duodiode-triode EBC 41.

Fig. 14

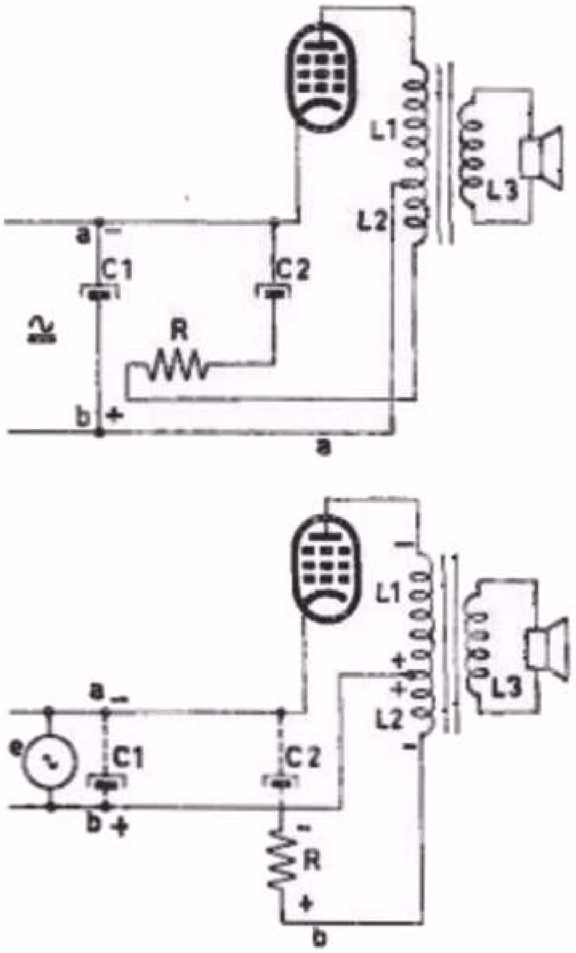
In de practische schakeling wordt de negatieve voorspanning Vd automatisch verkregen door middel van een kathodeweerstand of een weerstand in de minleiding. In fig. 14 wordt gebruik gemaakt van de spanning over de kathodeweerstand R6 van de EBC 41. Nu zien we ook waarom de EBC 41 van 2 dioden is voorzien. De ene diode d1 dient voor de detectie, de andere diode is de zogenaamde A.V.R.- diode. Deze diode is enerzijds via C5 verbonden met de afstemkring L1-C3, anderzijds via de weerstand R7 met de onderzijde van de kathodeweerstand R6. De regelspanning wordt van de weerstand R7 betrokken en via het filter R3-C9 en de weerstand R1 aan het stuurrooster van de H.F. versterkbuis EF 41 toegevoerd. Deze buis krijgt bovendien een negatieve voorspanning door middel van de kathodeweerstand R2. Deze roostervoorspanning komt nu via de weerstanden R7, R3 en R1 op het stuurrooster van de EF 41 terecht. De L.F. spanning ontstaat over de detectorweerstand R4, die tevens als geluidssterkteregelaar dienst doet. Via de koppelcondensator C6 komt de L.F. wisselspanning op het rooster van het triodegedeelte in de EBC 41 terecht. De EBC 41 heeft dus in dit schema 3 functies:

a. Als detector (diode d1)
b. Als gelijkrichter voor het opwekken van de regelspanning voor de automatische versterkingsregeling (diode d2).
c. Als L.F. versterker (triode).

De regelkarakteristiek die met deze schakeling wordt verkregen, is voorgesteld in fig. 12 (c). Tot punt A volgt de karakteristiek het verloop van die zonder automatische versterkingsregeling. Na dit punt treedt de versterkingsregeling in werking en neemt de uitgangswisselspanning veel minder toe dan het antenne-ingangssignaal. Uit deze karakteristiek volgt, dat als het ingangssignaal zo sterk is dat het zich in punt B bevindt, variaties van het ingangssignaal, ten gevolge van fading, slechts geringe veranderingen van de uitgangswisselspanning tot gevolg hebben.

88. Bromcompensatie.

Wij hebben in de tot nu toe getekende schema's de anodespanning voor de eindbuis betrokken van de buffercondensator. Zoals uit les 13 bleek, bevindt zich over de buffercondensator een rimpelspanning, waarvan de frequentie afhankelijk is van het systeem van gelijkrichting (enkelfazig of dubbelfazig).



a. Principeschema van het afvlakgedeelte + eindtrap, waarbij de primaire wikkeling van de uitgangstransformator is voorzien van een zgn. anti-bromwikkeling (L2).
b. Fig. 15a, op een andere wijze getekend, zodat duidelijker het in tegenfaze zijn van de spanningen over L1 en L2 zichtbaar is.

Fig. 15

Deze rimpelspanning komt gedeeltelijk over de primaire wikkeling van de uitgangstransformator terecht en kan aanleiding zijn tot een hinderlijk brommen. In vele ontvangtoestellen heeft men daarom een speciale schakeling toegepast, waarmede het brommen aanzienlijk wordt gereduceerd. Het principe van deze schakeling is in fig. 15a weergegeven. Om beter in te zien, hoe deze schakeling werkt, is deze figuur op een andere wijze getekend in fig. 15b.
De rimpelspanning over de buffercondensator C1, dus tussen de klemmen a en b, komt de via de eindpenthode op de wikkeling L1 terecht. Wij hebben hierin de momentele polariteit van de bromspanning aangegeven. De rimpelspanning over a en b komt tevens over de extra wikkeling L2 via de afvlakweerstand R en de tweede afvlakcondensator C 2.
Uit de tekening is onmiddellijk zichtbaar, dat beide bromspanningen tegengesteld in faze zijn. Door een juiste keuze van het aantal windingen van L1 en L2 wordt een bevredigende bromcompensatie verkregen.

89. Schemabeschrijving

In fig. 16 hebben wij het schema van fig. 14 uit les 17 opnieuw getekend. Hierin zijn nu de volgende veranderingen aangebracht:

a) Het schema is voor 2 golfgebieden geschikt gemaakt. De omschakeling geschiedt via 2 segmenten van de golfbereikschakelaar. Met deze schakelaar worden in het middengolfgebied de spoelen L2a en L3a in serie met de condensator C4a kortgesloten. Hetzelfde geschiedt met de spoel L5a. In de open standen van de schakelaar bevinden de spoelen L2 en L2a zich in serie. Hetzelfde is het geval met de spoelen L3 en L3a, en L5 en L5a. In deze positie is het ontvangtoestel geschikt voor langegolf-ontvangst.

b) Het ontvangtoestel is voorzien van vertraagde automatische versterkingsregeling. De schakeling is in principe gelijk aan die van fig. 14. De tweede (rechter) diode uit de EBC 41 krijgt de H.F. wisselspanning via de condensator C12 van ca. 20 pF toegevoerd. Voor de vertragingsspanning wordt gebruik gemaakt van de spanning over de kathodeweerstand R6, die ontkoppeld is door de condensator C15. De regelspanning ontstaat over de weerstand R7. Zij wordt toegevoerd via het ontkoppelfilter R14-C23 en de weerstand R1 aan het stuurrooster van de EF 41.

c) Ter vermindering van brom is op de primaire van de luidsprekertransformator een zgn. anti-bromwikkeling aangebracht. Het principe komt geheel overeen met dat van fig. 15.
Overigens is het schema gelijk aan dat van fig. 14 uit les 17.

SAMENVATTING

1. Voor het omschakelen van de verschillende spoelen voor andere golfbereiken maakt men gebruik van een golfbereikschakelaar.

2. Ten gevolge van veranderingen in de afbuiging van de radiogolven door de ionosfeer, kan gedurende de ontvangst het geluid sterker en zwakker worden. Men noemt dit sluiering of fading.

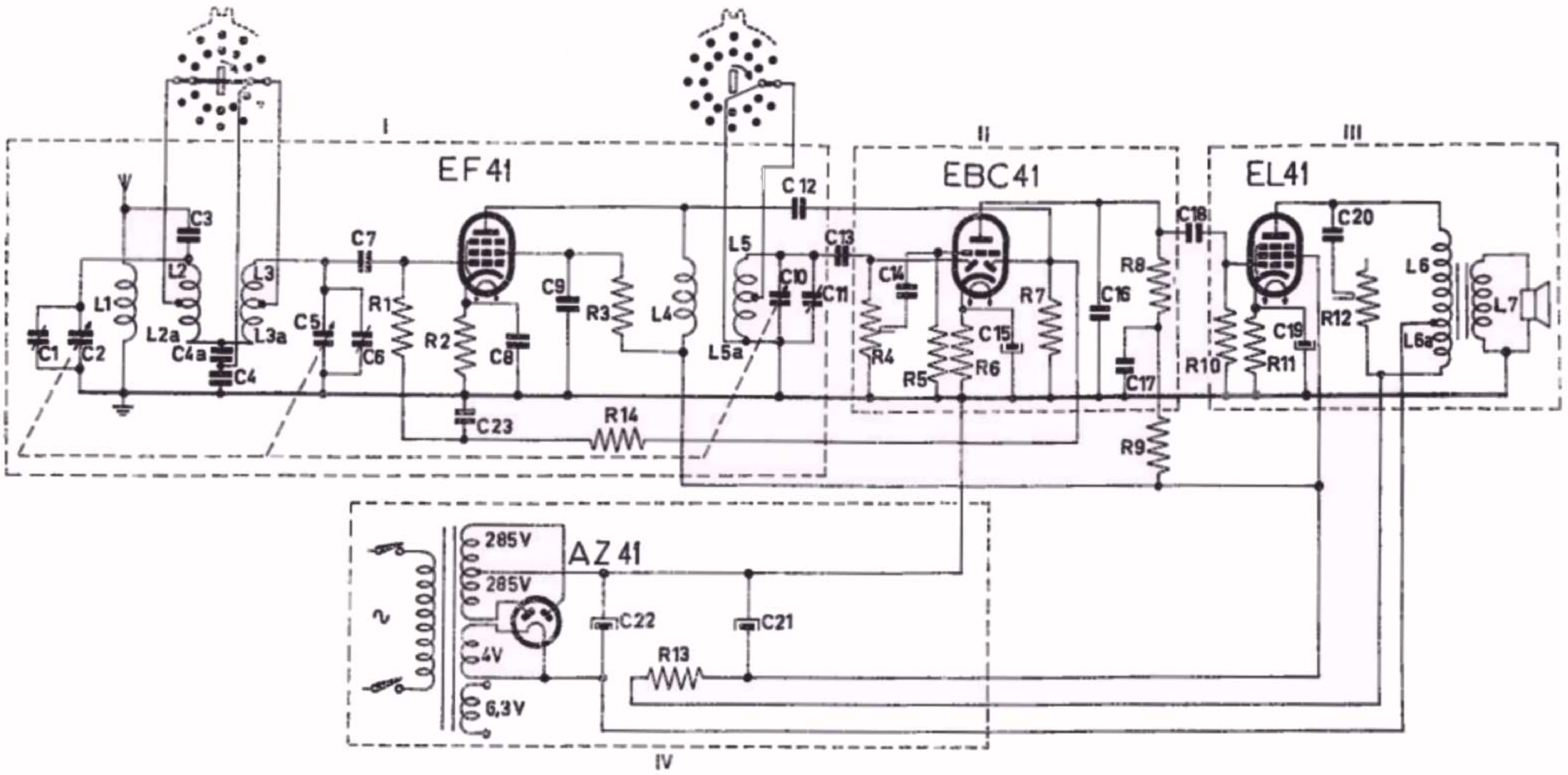
3. In het ontvangtoestel wordt de fading meer of minder gecompenseerd door de automatische versterkingsregeling (A.V.R.). Hierbij wordt van de gelijkspanning over de detectorweerstand gebruik gemaakt, omdat deze spanning evenredig is met de amplitude van de H.F. wisselspanning.

4. De regelspanning wordt toegevoerd aan het stuurrooster van de H.F. versterkbuis. Doordat het rooster meer negatief wordt, neemt de steilheid van de buis af en dientengevolge ook de versterking.

5. In verband met de automatische versterkingsregeling worden in het H.F. versterkgedeelte penthoden gebruikt, waarvan de steilheid continu afneemt met een toenemende negatieve roosterspanning. Deze penthoden worden regelpenthoden genoemd.

6. Om te voorkomen dat de automatische versterkingsregeling ook voor de zwakke zenders werkt, wordt de schakeling dikwijls van een vertraging voorzien. Dit wordt bereikt met behulp van een tweede diode, die een negatieve voorspanning krijgt. Zodra de H.F. wisselspanningsamplitude groter is dan de negatieve voorspanning van de diode, treedt de regeling in werking.

7. Bij schakelingen waarin de anodespanning van de eindbuis betrokken wordt van de buffercondensator, wordt dikwijls door middel van een extra wikkeling op de primaire van de luidspreker transformator bromcompensatie toegepast.



I
II
III
IV
EF41
EBC41
EL41
AZ41
C1
C2
C3
C4
C4a
C5
C6
C7
C8
C9
C10
C11
C 12
C13
C14
C15
C16
C17
C18
C19
C20
C21
C22
C23
L1
L2
L2a
L3
L3a
L4
L5
L5a
L6
L6a
L7
R1
R2
R3
R4
R5
R6
R7
R8
R9
R10
R11
R12
R13
R14
285V
285V
4V
6,3V

Schema van een volledige Cascade-ontvanger voor voeding uit het wisselstroomnet.

WEERSTANDEN

R1 = 1 Megohm (koolweerstand)
R2 = 300 Ohm (koolweerstand)
R3 = 90000 Ohm (koolweerstand)
R4 = 0,5 Megohm (logarithmische potentiometer)
R5 = 1 Megohm (koolweerstand)
R6 = 1800 Ohm (koolweerstand)
R7 = 1 Megohm (koolweerstand)
R8 = 0,1 Megohm (koolweerstand)
R9 = 50.000 Ohm (koolweerstand)
R10 = 0,7 Megohm (koolweerstand)
R11 = 170 Ohm (koolweerstand)
R12 = 50.000 Ohm (variabele weerstand)
R13 = 1200 Ohm (draadgewonden weerstand)
R14 = 1 Megohm (koolweerstand)

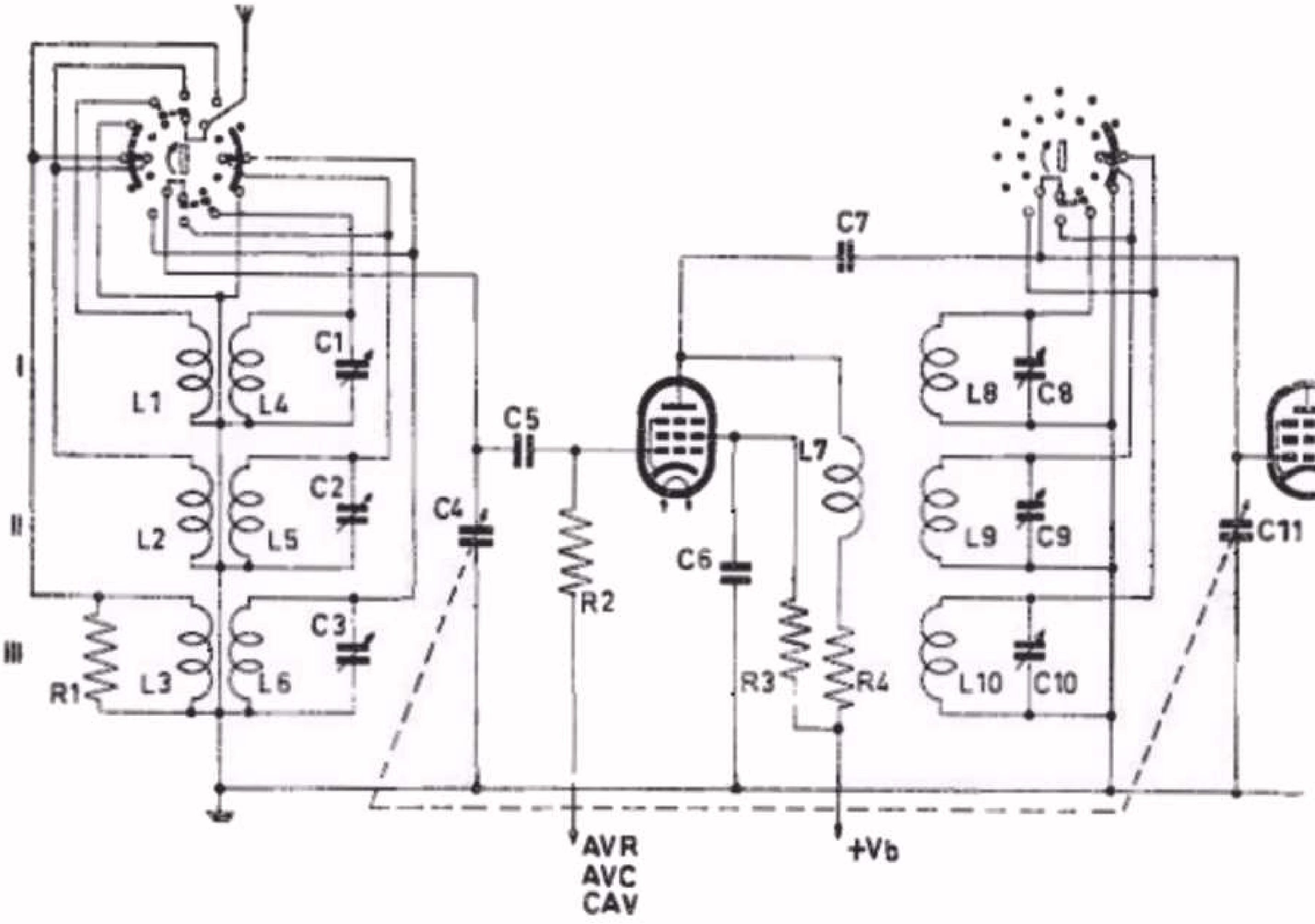
CONDENSATOREN

C1 = max. 30 pF (trimmer)
C2 = max. 300 pF, C5 = max. 500 pF, C10 = max. 500 pF (3-voudige afstemcondensator)
C3 = 4 pF (keramische condensator)
C4 = 40.000 pF (rolblokcondensator)
C4a = 40.000 pF (rolblokcondensator)
C6 = max. 30 pF (keramische condensator)
C7 = 100 pF (keramische condensator)
C8 = 50.000 pF (rolblokcondensator)
C9 = 50.000 pF (rolblokcondensator)
C11 = max. 30 pF (trimmer)
C12 = 20 pF (keramische condensator)
C13 = 100 pF (keramische condensator)
C14 = 10.000 pF (rolblokcondensator)
C15 = 50. µF/12,5 V (electrolytische condensator)
C16 = 100 pF (keramische condensator)
C17 = 50.000 pF (rolblokcondensator)
C18 = 20.000 pF (rolblokcondensator)
C19 = 100 µF/12,5 V (electrolytische condensator)
C20 = 50.000 pF (rolblokcondensator)
C21 = 50 µF/320 V (electrolytische condensator)
C22 = 50 µF/320 V (electrolytische condensator)
C23 = 0,1 µF (rolblokcondensator)

Fig. 16

VRAGEN EN VRAAGSTUKKEN

1. Teken van onderstaand schema van het H.F.gedeelte met drie golfbereiken de schakeling voor de bereiken II en III apart op.



2. Wat gebeurt er als in het ontvangtoestel met het schema van fig. 16
   a. de condensator C21 onderbroken is?
   b. de condensator C 9 sluiting heeft?
   c. de condensator C18 onderbroken is?

90. Het universeel meetapparaat GM 4257

Voorhet verrichten van reparaties aan radio toestellen, versterkers e.d. is het in de eerste plaats nodig dat men verschillende grootheden, zoals spanningen, stromen, weerstanden en capaciteiten, kan meten. Voor een vlotte werkwijze is het noodzakelijk gebleken, deze metingen met een enkel meetapparaat te kunnen uitvoeren. Dit geeft n.l. een overzichtelijke opstelling op de werkbank en bespaart de reparateur veel tijd, omdathij niet telkens voor een ander soort meting b.v. bij het overgaan van een spanningsmeting naar een weerstandsmeting, een ander meetapparaat moet aansluiten.
Wij willen, voordat we een dergelijk apparaat bespreken, eerst eens zien welke eisen - meetbereiken en nauwkeurigheden - aan een dergelijk apparaat gesteld moeten worden.

Meetbereiken

In de radio-ontvangers en kleine versterkers komen gelijk- en wisselspanningen tot maximaal 400 V voor, zodat een meetbereik tot 500 V ruim voldoende is. Stroommetingen zullen worden gedaan van enige mA's tot ca. 1 à 1½ A. Voor weerstandsmetingen is het noodzakelijk dat, zowel kleine weerstanden (ca 1 Ohm) als hoge weerstanden (tot ca 10 Megohm), kunnen worden gemeten; voor capaciteiten liggen de waarden in het gebied van 500 pF tot ca 100 uF.

Meetnauwkeurigheid

Voorhet gebruik in de service-werkplaats is geen zeer hoge nauwkeurigheid van de metingen noodzakelijk. Men is vanzelfsprekend geneigd zich ten doel te stellen, om spanningen en stromen zo nauwkeurig mogelijk te meten; dit brengt echter met zich dat dan gebruik moet worden gemaakt van dure precisie-instrumenten.

Laten we eens nagaan, hoe groot normaal de toleranties van de onderdelen en spanningen respectievelijk stromen, welke in een radioapparaat voorkomen, kunnen zijn.
Vrijwel de meeste onderdelen, zoals weerstanden en condensatoren, hebben een tolerantie van + of - 10% van de aangegeven waarde. Dit wil dus zeggen, dat wanneer een koolweerstand als 1 Megohm is aangegeven, deze een waarde kan hebben die ligt tussen 1 MΩ + 10% = 1,1 MΩ en 1 MΩ - 10% = 0,9 MΩ.
Bij het ontwerpen van het toestel is hier rekening mede gehouden, zodat deze variaties in waarde geen invloed op de goede werking van het radiotoestel hebben. Gaan wij nu eens na hoe het met de spanningen (stromen) is gesteld. Wanneer wij eens de moeite nemen om gedurende een gehele dag de netspanning, welke ter beschikking is, te controleren, dan zullen wij zien, dat in vele gevallen deze netspanning niet constant is. Vrij grote afwijkingen van de nominale waarde kunnen voorkomen. Dit wordt veroorzaakt door belastingvariaties op het electrisch net. Bij de constructie van radiotoestellen, versterkers e.d. is hier rekening mede gehouden, zodat de goede werking hiervan niet wordt beinvloed door netspanningsvariaties van + of - 10%. Om deze redenen heeft het ook geen zin om meetapparatuur te gebruiken van een grote nauwkeurigheid (bijv. 1 à 1½%).
Er zijn voor het bovengestelde doel diverse meetapparaten in de

handel, welke allen meer of minder hieraan beantwoorden, doch onderling zeer grote verschillen, wat opbouw en electrische schakeling betreft, vertonen. Een van deze apparaten willen wij nu eens nader gaan bekijken en wel het door Philips gefrabiceerde universeel-meetapparaat type GM 4257.
Wij zullen achtereenvolgens bekijken:
1. De mogelijkheden
2. De mechanische opbouw
3. De electrische opbouw.

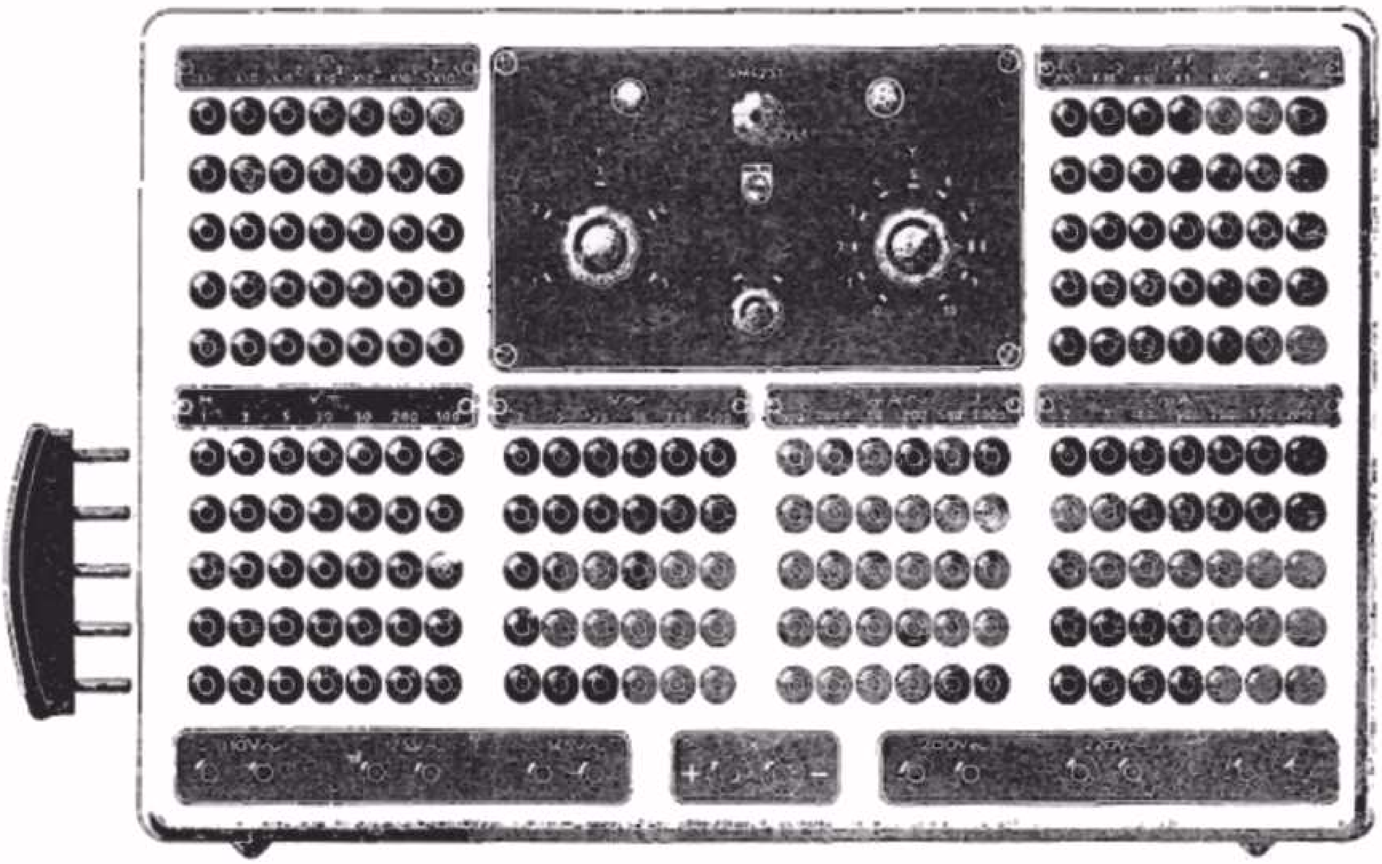
1. *De mogelijkheden*

Met de GM 4257 kunnen we het volgende doen:

a. Gelijkspanningsmeting met de volgende meetbereiken: 0-1; 0-2; 0-5; 0-20; 0-50; 0-200 en 0-500 V.
b. Wisselspanningsmeting met dezelfde meetbereiken als voor gelijkspanning, uitgezonderd het 0-1 V-bereik.
c. Gelijkstroommeting met de meetbereiken : 0-2; 0-5; 0-20; 0-50; 0-200; 0-500; en 0-2000 mA.
d. Wisselstroommeting met de meetbereiken 0-50; 0-200; 0-500; en 0-2000 mA.
e. Weerstandsmeting van ½Ω tot 50 mΩ, onderverdeeld in 7 meetbereiken.
f. Capaciteitsmeting van 500 pF tot 200 µF, onderverdeeld in 5 meetbereiken.
g. Isolatiebeproeving met 500 V gelijkspanning voor het controleren van de isolatie van diverse onderdelen.
h. Door een ingebouwde transformator kunnen wij de te onderzoeken radio-apparaten aansluiten op een wisselspanning van 110-245 V waarbij deze wisselspanning niet in direct contact met de netspanning staat. Hierdoor kan bij een U-apparaat (voor gelijkstroom-wisselstroomvoeding) het metalen chassis direct met de aardleiding worden verbonden.
Dit voorkomt levensgevaar voor de reparateur!
Tevens kunnen wij zonder meer de grootte van de primair opgenomen stroom van het radio-apparaat meten.

2. *Mechanische opbouw (fig. 1 en 2).*

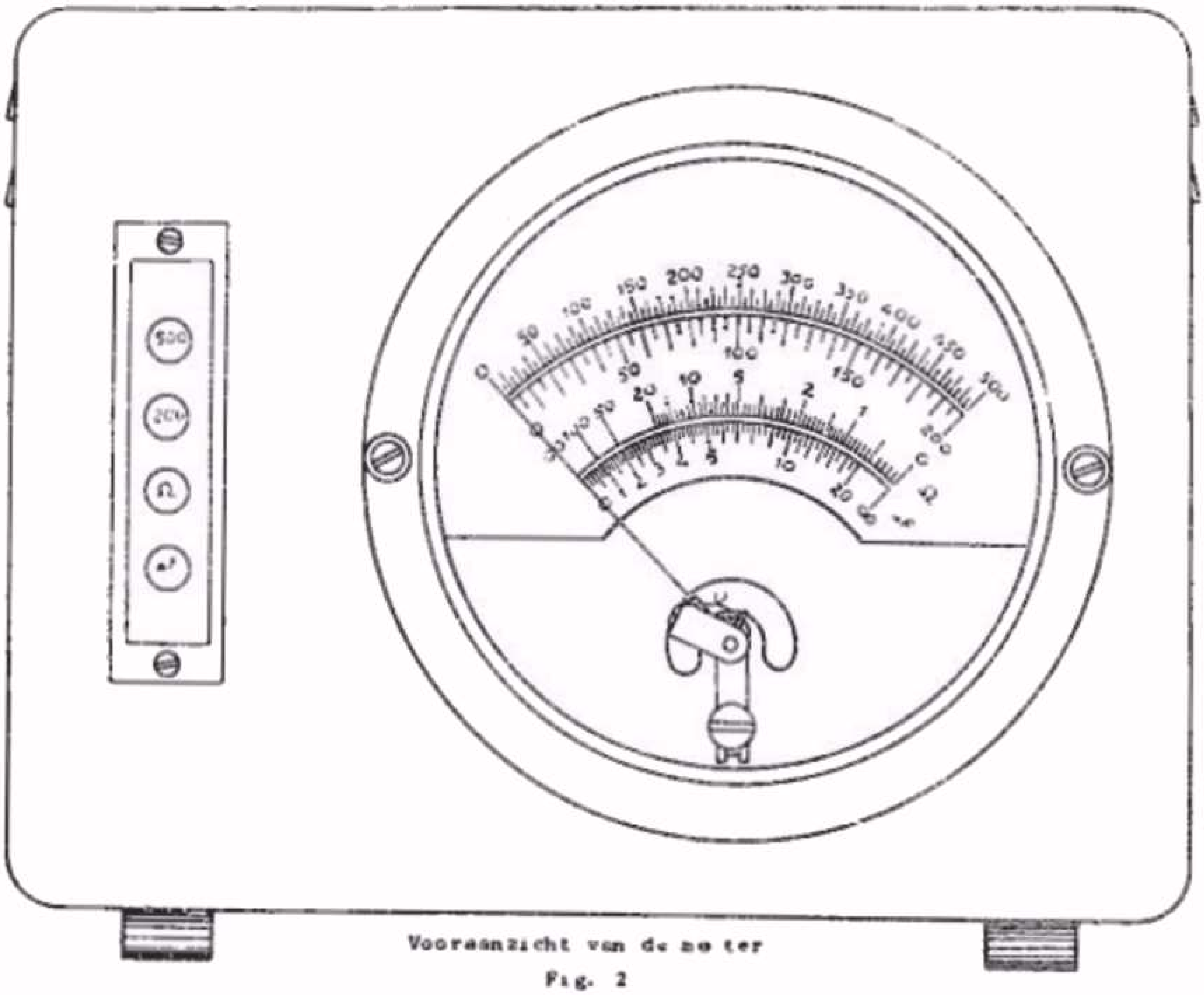
Het is begrijpelijk dat, willen wij de bovengenoemde metingen met een apparaat kunnen uitvoeren, het noodzakelijk is dat verschillende vrij ingewikkelde omschakelingen mogelijk moeten zijn. Voor een intensief gebruik, wat in de radiowerkplaats veelal het geval is, moeten deze omschakelaars robuust geconstrueerd zijn, om geen bedrijfsstoring door slijtage te geven. Tevens moet zeer duidelijk aangegeven zijn, in welke stand de omschakelaar of schakelaar staat om vergissingen bij het werk te voorkomen.
Bij de GM 4257 geschiedt de omschakeling voor de verschillende meetmogelijkheden en meetbereiken met behulp van een 5-polige doorverbindingssteker (P1 in fig. 1). Hierdoor is een zeer robuuste schakelaar verkregen, die ook na jarenlang intensief gebruik goed blijft werken. In fig. 1 zien wij tevens dat de verschillende meetbereiken duidelijk aangegeven zijn bij de plaatsen, waar de steker P1 kan worden ingestoken. Voor een gemakkelijke



Vooraanzicht van het schakelpaneel.

Fig. 1

aflezing van de meterschalen (fig. 2) wordt door indicatielampjes naast de meter aangegeven, welke schaal voor de ingestelde meting moet worden afgelezen.
Uit fig. 1 en 2 blijkt dat de meter waarop afgelezen moet worden, niet in het apparaat is ingebouwd. Dit is om de volgende reden gedaan:



Vooraanzicht van de meter

Fig. 2

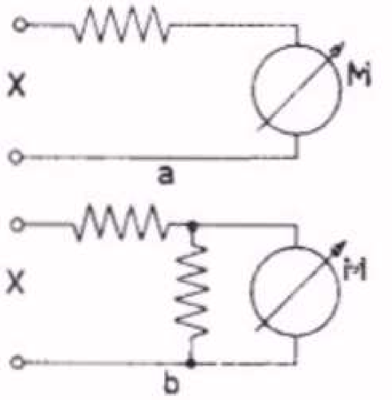
De schakelkast (fig. 1) kan nu zodanig op de werkbank worden geplaatst dat omschakelingen met de steker P1 gemakkelijk kunnen worden uitgevoerd; bovendien kan de meter (fig. 2) boven de werkbank op een zodanige plaats worden gemonteerd, dat hij te allen tijde gemakkelijk afleesbaar is. Voor de electrische verbinding van de schakelkast naar de meter wordt een meerpolige kabel meegeleverd.

3. *Electrische opbouw*

Wij zullen nu eens bekijken welke schakelingen voor de verschillende metingen gebruikt worden. De hierbij gegeven detail-schakelingen zijn sterk vereenvoudigd; zij dienen om het principe waarop de meting berust, aan te geven.

a. *Gelijkspanningsmeting*

Hierbij is het meetapparaat geschakeld, als aangegeven in fig. 3a en 3b. Door een juiste keuze van de voorschakelweerstand R (fig. 3a) wordt het meetbereik gekozen. De weerstand van het meetinstrument is hierbij zodanig, dat de meter 10.000Ω per volt heeft, uitgezonderd voor het 500 volt-bereik (fig. 3b), waar dit 5.000Ω per volt is.

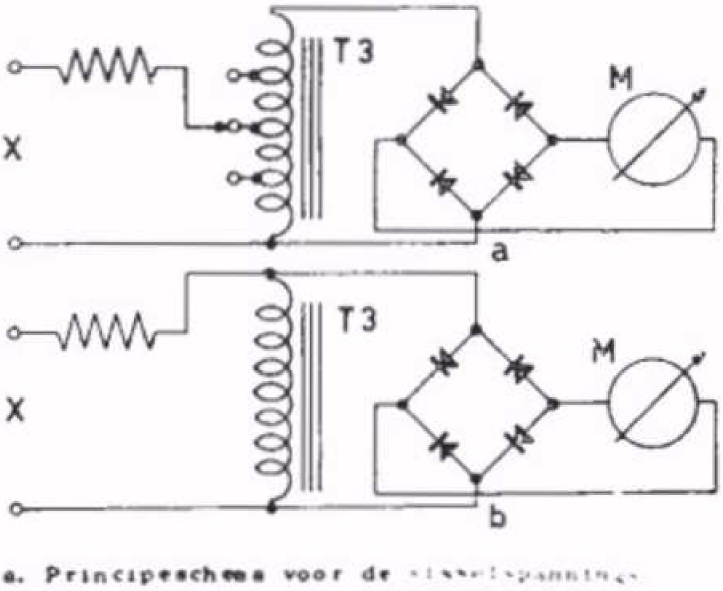


a. Principeschema voor de gelijkspanningsmeting tot 200 V.
b. Principeschema voor de gelijkspanningsmeting in het 500 V-bereik.

Fig. 3

b. *Wisselspanningsmeting*

In fig. 4a en 4b zijn de principiële schakelingen hiervan aangegeven. Wij zien hieruit, dat gebruik gemaakt is van een stroomtransformator (zie les 11 par. 58, om een lineaire schaal te krijgen. Voor de meetbereiken 50, 200 en 500 V geldt fig. 4b en is de weerstand van de meter 1000Ω per V. Voor de meetbereiken 2, 5 en 20 V wordt gebruik gemaakt van aftakkingen op de transformator T3; de weerstand is hierbij 50Ω per V.



a. Principeschema voor de wisselspanningsmeting voor de meetbereiken 2, 5 en 20 V.
b. Principeschema voor de wisselspanningsmeting voor de meetbereiken 50, 200 en 500 V

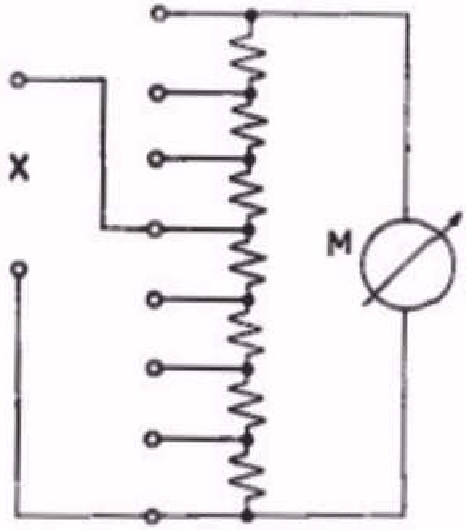
Fig. 4

c. *Gelijkstroommeting*

Hiervoor geeft fig. 5 de schakeling. Wij zien dat hier zoals in les 5 par. 24 is uiteengezet, gebruik gemaakt wordt van een aftakshunt voor de verschillende meetbereiken.

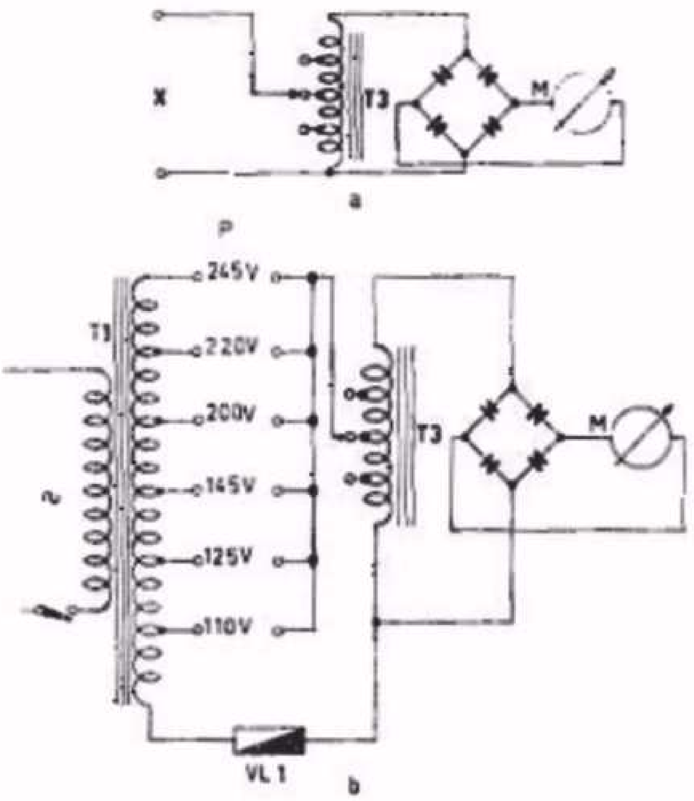
d. ***Wisselstroommeting***

Hierbij wordt wederom gebruik gemaakt van de stroomtransformator T3 (fig. 6a) en worden de verschillende meetbereiken verkregen door aftakkingen op de wikkeling daarvan. Hiervoor is al gezegd dat bij wisselstroommeting 4 meetbereiken beschikbaar zijn. Uit fig. 1 zien wij echter dat er nog 2 bereiken n.l. 500 en 2000 mA zijn. Wordt de omschakelsteker P1 in een van deze 2 standen gezet, dan is de schakeling van het meetapparaat als aangegeven in fig. 6b. Hierbij staat de stroommeter in serie met de wisselspanningsaansluitingen 110 - 245 V van de ingebouwde transformator T1. In deze 2 standen meten wij dus, zonder een onderbreking in een of andere leiding te moeten ma-



Principeschema voor de gelijkstroommeting.

Fig. 5



a. Principeschema voor de wisselstroommeting.

b. Principeschema voor de wisselstroommeting voor de bereiken van 500 en 2000 mA. Op de klemmen P kan het ontvangtoestel worden aangesloten.

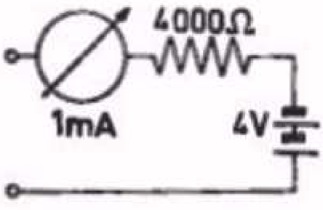
Fig. 6

ken, de stroom welke door de transformator T1 aan het te repareren apparaat wordt geleverd. VL1 is een smeltzekering, om schadelijke gevolgen van kortsluiting te voorkomen.

Opmerking

Bij spannings- en stroommeting is de meetnauwkeurigheid beter dan 5% van de volle schaaluitslag.

Bij wisselspanningsmeting is de onnauwkeurigheid voor verschillende frequenties kleiner dan 10% voor frequenties van 50-6000 Hz (vergeleken ten opzichte van de aanwijzing bij 1000 Hz).

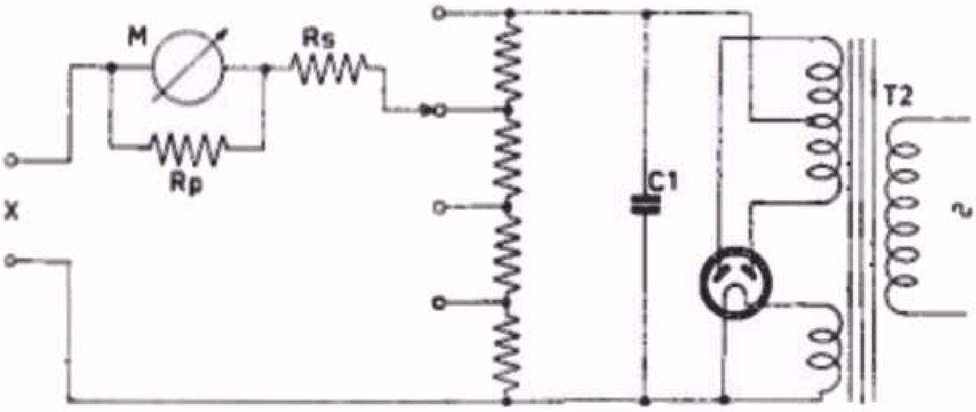


Principeschema voor de weerstandsmeting.

Fig. 7

e. *Weerstandsmeting*

Het principe, waarop de hier toegepaste weerstandsmeting berust, is aangegeven in fig. 7. Wanneer wij hierin de meetklemmen X kortsluiten, zal de meter vol uitslaan. Zijn deze klemmen echter niet doorverbonden, dan blijft de wijzer van de meter op nul staan. Worden de klemmen X verbonden via een weerstand van bijv. 10.000Ω , dan zal de meter een zekere uitslag vertonen. Hoe groot deze uitslag zal zijn, is met behulp van de wet van Ohm gemakkelijk te bepalen. Door nu de batterijspanning en de voorschakel-

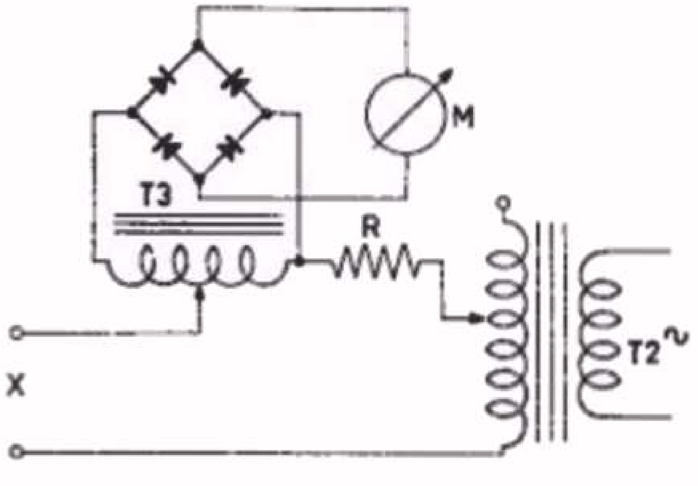


Vollediger schema van de schakeling voor het meten van weerstanden
Fig. 8

weerstan verschillende waarden te geven, kan men op deze manier een zeer uitgebreid meetgebied bestrijken. Hoe dit in het apparaat GM 4257 gebeurt, is aangegeven in fig. 8. De batterijspanning is hier de spanning over de buffercondensator C1, waaraan een potentiometerschakeling van vaste weerstanden parallel geschakeld is. Hierdoor kunnen wij de gewenste batterijspanning kiezen. Tevens wordt daarbij de waarde van de serieweerstand Rs en de parallelweerstand Rp gewijzigd.

f. *Capaciteitsmeting*

Wanneer wij in fig. 7 de batterijspanning zouden vervangen door een wisselspanning, dan zien wij het volgende:
Bij aansluiting van een condensator aan de meetklemmen X zal de meter een zekere uitslag vertonen. De condensator vormt n.l. een wisselstroomweerstand (zie les 8) welke kleiner is naarmate de condensator groter is. Hierbij kunnen wij uitrekenen, hoe groot de meteruitslag voor een bepaalde capaciteitswaarde zal zijn en zodoende een schaal op de meter aanbrengen die deze capaciteitswaarde aangeeft. De schakeling van de GM 4257 voor capaciteitsmeting is nu aangegeven in fig. 9. Door een juiste keuze van de aftakkingen op de transformatoren T1 en T2 en de voorschakelweerstand R, kunnen de verschillende meetbereiken worden bepaald.
Wij kunnen ons nu afvragen waarom de schakeling van fig. 9 niet toegepast is voor de weerstandsmeting, immers wanneer wij bij deze schakeling een weerstand tussen de klemmen X aansluiten zal de meter ook een bepaalde uitslag geven. Wanneer wij dus deze schakeling zowel voor capaciteits- als voor weerstands-



Principeschema voor het meten van condensatoren.

Fig. 9

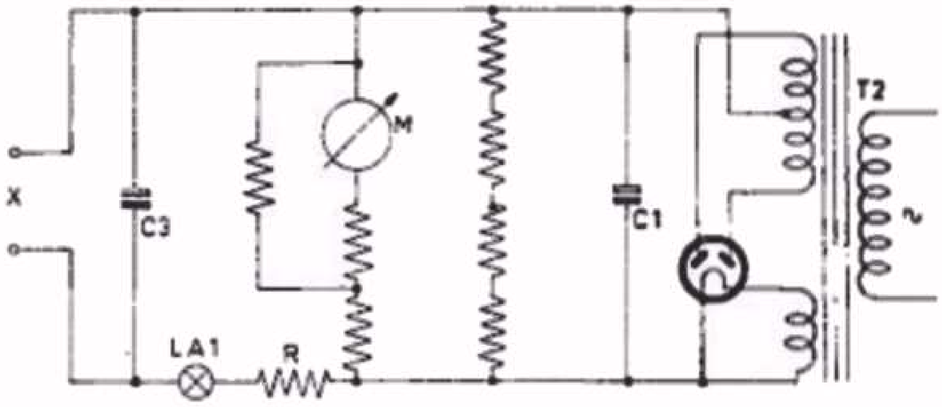
meting zouden gebruiken, kon ongetwijfeld het meetapparaat eenvoudiger (dus goedkoper) worden geconstrueerd.
Dit zou inderdaad juist zijn, wanneer wij ons beperkten tot het meten van kool- resp. draadweerstanden. In de praktijk moeten wij echter ook de weerstanden van de transformatorwikkelingen kunnen meten. Deze vormen door de aanwezigheid van de ijzerkern een zelfinductie van een niet te verwaarlozen grootte. In les 7 hebben wij gezien dat hierbij een wisselstroomweerstand optreedt, die groter is dan de weerstand van de draadwikkeling alleen. Met de schakeling van fig. 9 zouden wij hierbij dus grove meetfouten maken. De bovengenoemde bezwaren gelden niet voor de schakeling van fig. 8, daar hierbij de zelfinductie, door het gebruik van gelijkspanning, geen rol speelt.

Opmerking

Bij weerstands- en capaciteitsmeting is de gemiddelde meet-nauwkeurigheid ca. 10%.
In fig. 1 zien wij dat bij het hoogste weerstandsbereik en het laagste capaciteitsbereik een bliksempijltje staat aangegeven. Dit is als waarschuwing bedoeld, daar in deze twee standen, bij open aansluitklemmen X, hoge spanningen aan deze klemmen aanwezig zijn. Dit is voor weerstandsmeting 500 V gelijkspanning en voor capaciteitsmeting 300 V wisselspanning.

g. *Isolatiebeproeving*

De schakeling hiervan is aangegeven in fig. 10. Hierbij worden de



Principeschema van de schakeling voor isolatiebeproeving van condensatoren.

Fig. 10

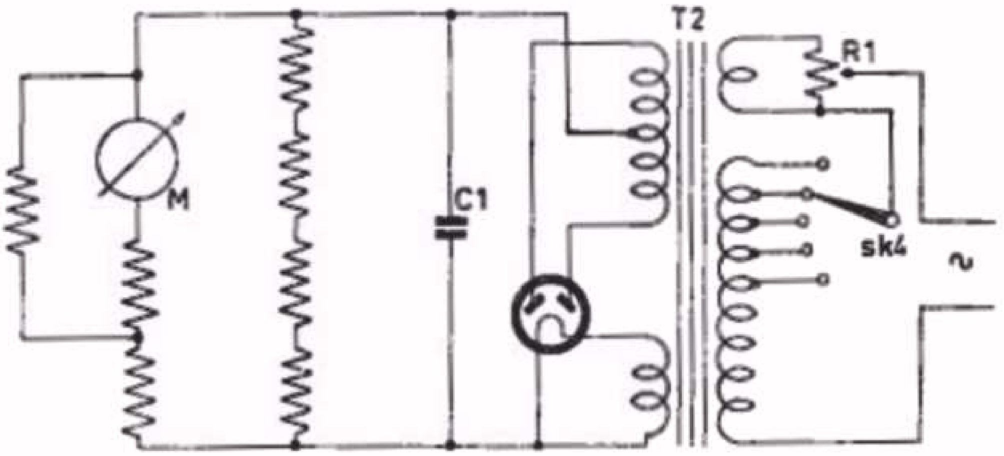
condensatoren C1 en C3 tot 500 V opgeladen. De meter geeft hierbij volle uitslag. Deze schakeling wordt gebruikt om onderdelen, zoals papier-, mica-, en keramische condensatoren op hun isolatie-eigenschappen te beproeven. Bij volledige kortsluiting tussen de klemmen X zal de meter M nog ca 400 schaaldelen aanwijzen en het lampje La1 gaan oplichten. De weerstand R beperkt de kortsluit-stroom tot ca 40 mA.

Deze schakeling kan met voordeel worden gebruikt voor het reinigen van variabele condensatoren, wanneer zich geleidende stofdeeltjes tussen de condensatorplaten bevinden. Wordt n.l. een dergelijke condensator aangesloten aan de meetklemmen X, dan zal door de plaatselijke kortsluiting van het stofdeeltje, de condensator C3 zich met een grote stroomsterkte ontladen. Door deze ontlaadstroom zal vrijwel steeds het stofdeeltje vernietigd worden en is de variabele condensator weer bruikbaar.

Deze stand is aangegeven met een sterretje, waarbij een bliksempijltje; dit laatste vanwege de 500 V gelijkspanning aan de meetklemmen X.

h. *IJking*

In het voorgaande hebben wij gezegd dat de spanning van het lichtnet meestal niet constant is. Variatie van deze spanning zal de nauwkeurigheid van de weerstands- en capaciteitsmeting ongunstig beinvloeden. Om dit te kunnen compenseren wordt de omschakelsteker P1 in de stand Y geplaatst. Fig. 11 geeft de schakeling die daarbij gebruikt wordt. Met de schakelaar SK4 kunnen wij nu de



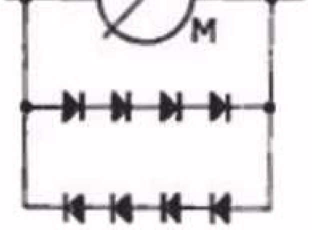
Principeschema voor de schakeling die gebruikt wordt voor de ijking van het apparaat.

Fig. 11

secundaire spanning van T2 in stappen regelen. Met de potentiometer R1 kunnen wij deze spanning nog fijn regelen. De afgegeven spanningen van T2 voor weerstands- en capaciteitsmeting, hebben de juiste waarden, wanneer de meter M tot volle uitslag van de schaal wordt gebracht.

i. *Meterbeveiliging*

De schakeling van de GM 4257 is zodanig, dat bij spannings- en stroommeting de transformator T1 is ingeschakeld. Als het te repareren radiotoestel op de secundaire wikkeling van T1 wordt aangesloten, wordt hiermee het toestel ingeschakeld. Bij weerstands- respectievelijk capaciteitsmeting is de transformator T1 echter uitgeschakeld en het te repareren apparaat dan automatisch spanningsloos. Hiermede wordt voorkomen, dat het meetinstrument wordt beschadigd als weerstands- of capaciteitsmetingen worden gedaan, terwijl er nog spanning op deze onderdelen aanwezig is.
Het is daarom ten zeerste aan te bevelen het te onderzoeken radio-apparaat *steeds* aan te sluiten op de secundaire wikkeling van de transformator T1.

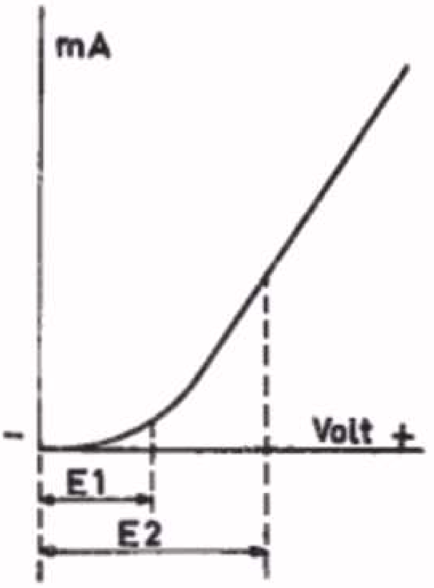


De meter, waaraan ter beveiliging een dubbele serieschakeling van metaalgelijkrichters parallel geschakeld is.

Fig. 12

Deze voorzorgsmaatregel sluit echter nog niet uit, dat de meter door een foutieve handeling overbelast kan worden en daardoor schade zal oplopen. Daarom is nog parallel aan de meter M een serieschakeling van metaalgelijkrichters geschakeld (fig. 12). Deze gelijkrichters nemen bij een overbelasting van de meter het grootste deel van de stroom over, zodat de meter in zekere zin beveiligd is tegen overbelasting. De werking hiervan is als volgt: In fig. 13 zien wij de stroom-spannings-karakteristiek van de gebruikte metaalgelijkrichters. Bij een spanning E1 geeft de meter volle uitslag; hierbij is de weerstand van de parallelgeschakelde gelijkrichter nog zo groot, dat die geen invloed op de meteruitslag heeft.

Bij een spanning E2 (2X de waarde E1), is de weerstand van de gelijkrichter zo laag, dat nu het merendeel van de stroom door de gelijkrichter gaat. Om de meter ook te beveiligen bij een foutieve aansluiting, waarbij de polariteit omgekeerd zou zijn, gebruiken wij 2 serie-schakelingen van gelijkrichters, welke in oppositie t.o.v. elkaar schakeld zijn (fig. 12). Door deze maatregel kan de meter kortstondig 20voudig worden overbelast zonder daarbij schade op te lopen.



Stroom-spanningskarakteristiek van de in fig. 12 gebruikte metaalgelijkrichters.

Fig. 13

91. De universele meetbrug "Philoscop"

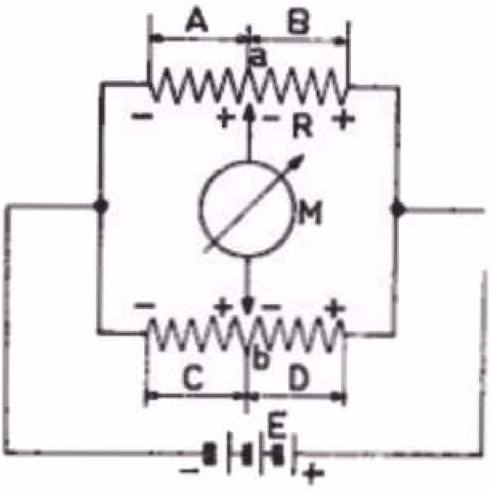
In aansluiting op het universeel meetapparaat GM 4257 willen wij nu een apparaat bespreken voor het meten met grote nauwkeurigheid van weerstanden en condensatoren. Het komt n.l. herhaalde malen voor, dat men de waarde van weerstanden en condensatoren met een grotere nauwkeurigheid moet kunnen bepalen dan met de GM 4257 mogelijk is. Wij denken b.v. aan de voorschakel- en shuntweerstanden voor volt- en mA-meters en aan vaste padding-condensatoren in oscillatorschakelingen. (Over padding-condensatoren wordt in de volgende les gesproken).

Hierin voorziet de nieuwe meetbrug GM 4144, genaamd "Philoscop".

a. *Principe van de brug van Wheatstone*

De "Philoscop" berust op het principe van de brug van Wheatstone. Voor de verklaring gaan wij uit van fig. 14; wij nemen hierbij aan, dat de twee potentiometers R1 en R2 een gelijke waarde hebben en mechanisch zo aan elkaar gekoppeld zijn, dat het weerstandsgedeelte A van R1 steeds gelijk is aan het gedeelte C van R2. Hieruit volgt,

dat dan B gelijk is aan D.
Bij verdraaiing van de beide potentiometerassen veranderen weliswaar de uiteinden van de potentiometers, de spanningen A en C, en B en D blijven echter steeds aan elkaar gelijk. Bekijken we de spanningen A en C vanuit de glijpunten a en b, dan ziet men uit fig. 14, dat deze spanningen in oppositie zijn geschakeld. De spanning tussen a en c is dus 0.



Principeschema van de brug van Wheatstone.

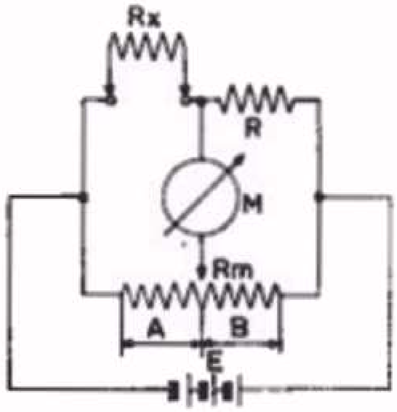
Fig. 14

Wordt nu een meter M op de punten a en c aangesloten, dan zal deze meter niet uitslaan. Er wordt dan wel gezegd, dat de meter is aangesloten op twee punten, die in spanningsevenwicht zijn.

Wij hebben in het bovenstaande aangenomen, dat de potentiometers R1 en R2 de zelfde weerstandswaarde hebben. Wij kunnen echter het zelfde bereiken, wanneer R1 en R2 verschillende weerstandswaarden hebben. Ook dit is gemakkelijk in te zien. Het spanningsevenwicht treedt n.l. op zodra de spanningen A en C gelijk zijn. Aangezien beide potentiometers op de zelfde spanningsbron zijn aangesloten, zal een zelfde positie van de glijcontacten een zelfde spanningsverdeling van de potentiometer geven, zodat de overeenkomstige deelspanningen A en C resp. B en D steeds aan elkander gelijk zullen zijn.
Hieruit volgt, dat spanningsevenwicht optreedt als $\frac{A}{B} = \frac{C}{D}$

Om met deze principiële schakeling onbekende weerstanden te kunnen meten, veranderen wij de schakeling tot die van fig. 15.
Hierin is R een bekende weerstand en Rx de onbekende weerstand waarvan wij de waarde willen bepalen. Wanneer nu door draaiing van de meetpotentiometer Rm spanningsevenwicht is gevonden, geldt dus

$$\frac{Rx}{R} = \frac{A}{B} \text{ of } Rx = R \times \frac{A}{B}$$



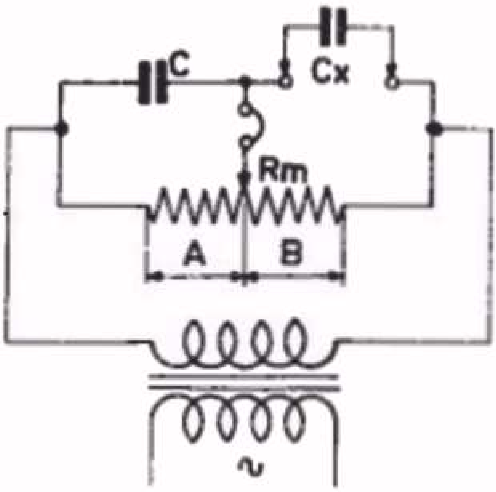
Principeschema van de brug van Wheatstone voor het meten van weerstanden. De te meten weerstand is Rx.

Fig. 15

Wanneer wij nu de potentiometer Rm voorzien van een schaalverdeling die de verhouding $\frac{A}{B}$ aangeeft, kunnen wij direct de waarde van Rx bepalen, als wij de waarde van R kennen.
In fig. 15 is een batterij als spanningsbron getekend, doch wij kunnen zonder bezwaar deze batterijspanning vervangen en in plaats van de meter M bijv. een koptelefoon gebruiken. Wanneer wij dit doen, kunnen wij op dezelfde manier de waarde van een onbekende condensator meten. De schakeling hiervoor is in fig. 16 aangegeven. Om hierbij van dezelfde schaalverdeling van de potentiometer Rm gebruik te maken, moeten wij de plaats van de standaardcondensator C en de onbekende condensator Cx omwisselen ten opzichte van R en Rx van fig. 15. Dit wordt veroorzaakt

doordat de wisselstroomweerstand van een condensator kleiner wordt bij toeneming van de capaciteitswaarde (zie les 8, $X_C = \frac{1}{6,28\ fC}$).

De schakelingen van fig. 15 en 16 zijn voor practisch gebruik een beetje onhandig, omdat de schaalverdeling aan de uiteinden sterk gedrongen wordt. Deze schaalverdeling zal n.l. van nul tot oneindig groot gaan. Worden in fig. 16 op de plaatsen met een kruis aangegeven vaste weerstanden opgenomen, dan zal de schaalverdeling een kleiner gebied bestrijken; zij wordt echter veel overzichtelijker en daardoor nauwkeuriger af te lezen.

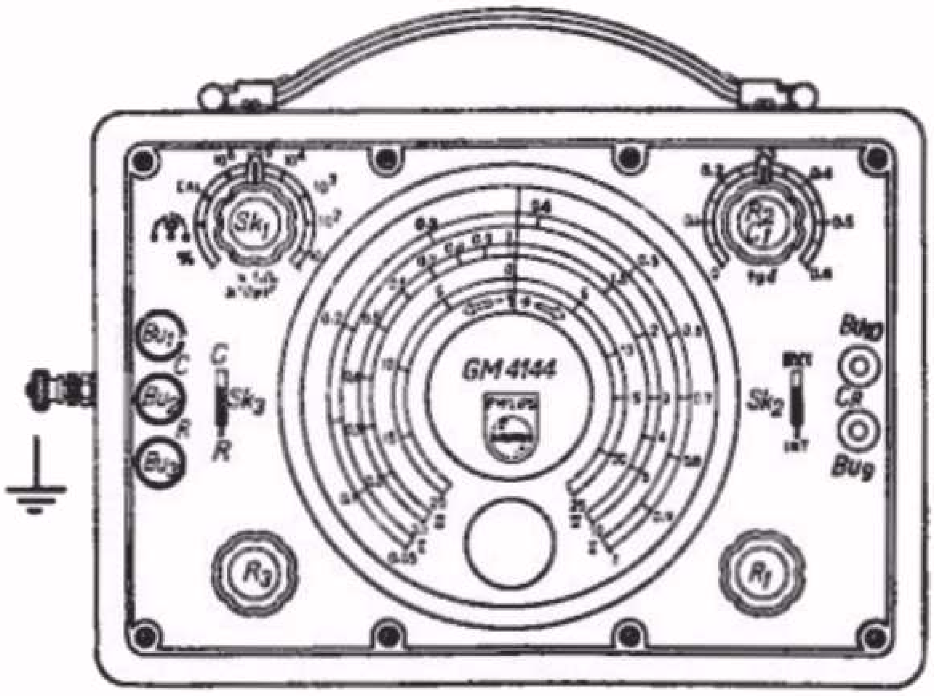


Principeschema van de brug van Wheatstone voor het meten van condensatoren. De te meten condensator is Cx.

Fig. 16

b. *De "Philoscop" GM 4144*

Wij zullen nu eens zien hoe of de "Philoscop" GM 4144 is uitgevoerd. Fig. 17 geeft het aanzicht van dit apparaat en fig. 18 in vereenvoudigde vorm, de schakeling. Wij zien hieruit dat de meetbrug met een wis-

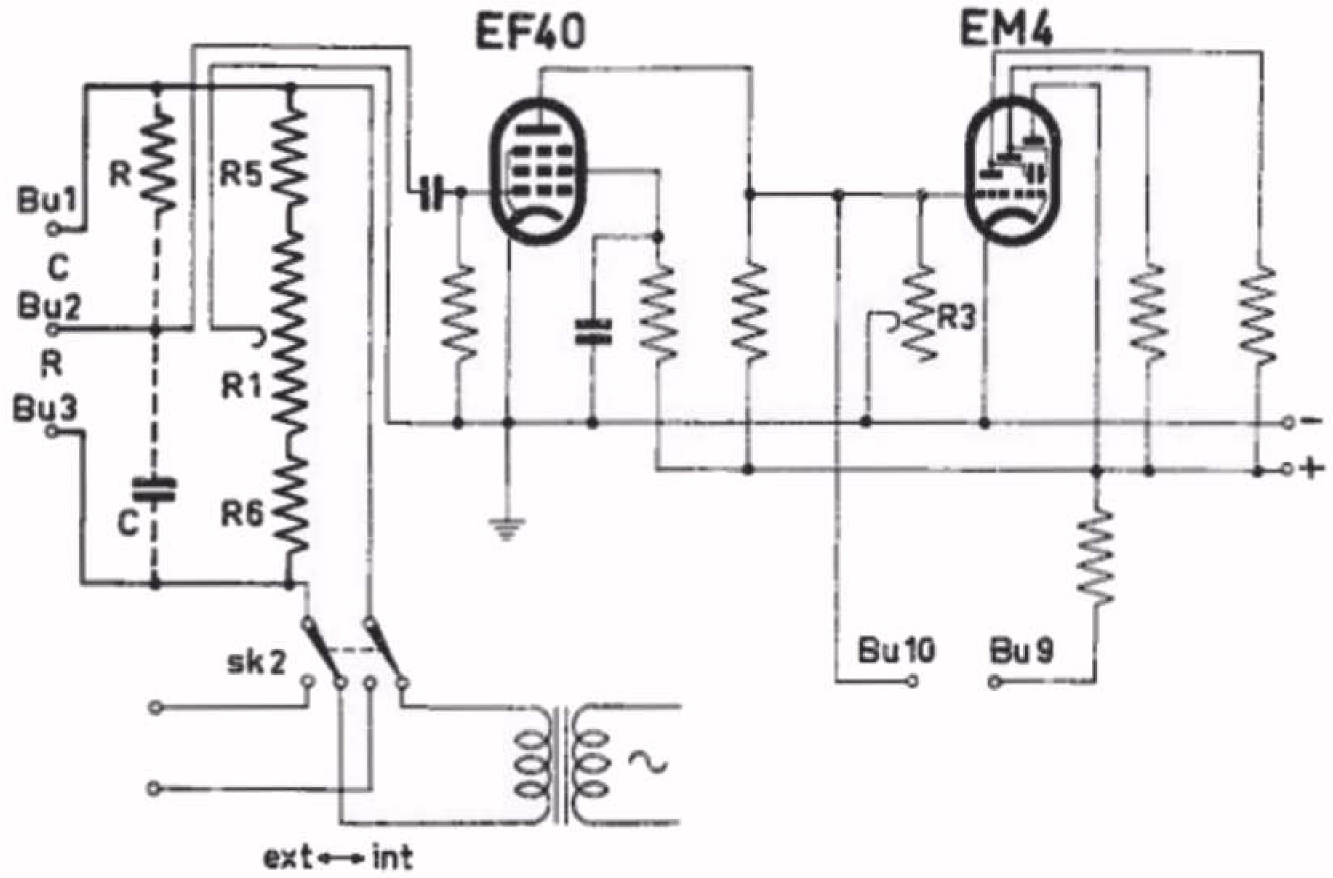


Vooraanzicht van de "Philoscop" GM 4144.

Fig. 17

selspanning gevoed wordt, die wij via de schakelaar SK2 kunnen betrekken van de ingebouwde voedingstransformator (SK2 in stand intern) of een uitwendig aan te sluiten wisselspanningsbron (SK2 in stand extern). Voor de service-werkplaats wordt alleen gebruik gemaakt van de ingebouwde voedingsspanning, dus kunnen wij SK2 continu in de stand "intern" laten staan.

Als nul-indicator wordt gebruik gemaakt van een laagfrequent-versterker (EF 40), welke zijn uitgangsspanning afgeeft aan een kathodestraal-indicator EM4. Wanneer er spanningsevenwicht is, dus geen wisselspanning aan het rooster van de EF 40 wordt toegevoerd, is de uitslag van de indicator EM4 minimaal (de werking van de EM4 zal



Vereenvoudigde schakeling van de universele meetbrug "Philoscop" GM 4144.

Fig. 18

later worden verklaard). Met R3 kunnen wij de gevoeligheid van de indicator instellen.

R1 is de meetpotentiometer, waarmede de weerstanden R5 en R6 in serie geschakeld zijn om een meetgebied te verkrijgen met een ruime schaal, dus goede afleesnauwkeurigheid.

Met de omschakelaar SK1, wordt de waarde van de ingebouwde standaard-weerstanden of condensatoren bepaald. Of er weerstanden of condensatoren worden gebruikt is n.l. afhankelijk van de stand van SK3. Met SK3 in de stand "R" worden standaardweerstanden ingeschakeld, in de stand "C" daarentegen condensatoren. De standaardweerstanden R en condensatoren C zijn daarom in fig. 18 gestippeld aangegeven. De te meten weerstand wordt aangesloten aan de meetklemmen Bu2 en Bu3, de onbekende condensator tussen de klemmen Bu1 en Bu2.

Meetbereiken voor weerstanden

Meetgebied	Stand van schakelaar SK 1	Aflezen op schaal	Schaalaflezing vermenigvuldigen met
0,5 - 10 Ω	10	I	10 Ω
5 - 100 Ω	10^2	I	100 Ω
50 - 1000 Ω	10^3	I	1000 Ω
500 - 10000 Ω	10^4	I	10 kΩ
5000 - 100000 Ω	10^5	I	100 kΩ
0,1 - 10 MΩ	10^6	II	1 MΩ

Condensatoren

Meetgebied	Stand van schakelaar SK1	Aflezen op schaal	Schaalaflezing vermenigvuldigen met
10 - - 100 pF	10	I	100 pF
50 - 1000 pF	10^2	I	1000 pF
500 - 10000 pF	10^3	I	10000 pF
0,005 - 0,1 μF	10^4	I	0,1 μF
0,05 - 1 μF	10^5	I	1 μF
1 - 100 μF	10^6	II	10 μF

Bij de meetbereiken 10-100 pF en 50-1000 pF moet de gevonden waarde worden verminderd met de nulcapaciteit van de GM 4144. Deze nulcapaciteit wordt gevormd door de aansluitklemmen en de bedrading daarvan. Deze kan een waarde van 10-15 pF hebben.

Men kan de nulcapaciteit bepalen door de stand af te lezen waarbij de indicator minimum uitslag heeft in het meetgebied 10-100 pF. Hierbij mag op de klemmen Bu_1, Bu_2 en Bu_3 niets zijn aangesloten. Op deze wijze is het eveneens mogelijk condensatoren te meten, die een capaciteitswaarde bezitten van 1 tot 10 pF.

Voorbeeld:

Gemeten nulcapaciteit 11,0 pF
Gemeten capaciteit 17,8 pF
De waarde van de te meten capaciteit is dan 17,8 - 11,0 = 6,8 pF.

Opmerking

Daar er bij dit apparaat alleen met wisselspanning wordt gewerkt, kunnen wij hiermede *niet* de weerstanden van transformatoren, smoorspoelen e.d. meten, daar de zelfinductie de zaak in de war stuurt. Voor de Service-werkplaats is dit geen bezwaar, daar wij deze weerstanden niet met een grote nauwkeurigheid behoeven te kennen.

Het meten van electrolytische condensatoren en hoge weerstandswaarden.

Een electrolytische condensator heeft steeds een zekere serieweerstand. Daar de ingebouwde standaardcondensatoren practisch weerstandsvrij zijn, zou deze serieweerstand de meting ongunstig beinvloeden. Om dit te kunnen compenseren is de weerstand R2 aangebracht, welke in serie met de standaardcondensator, voor het meetgebied 1 - 100 μF, is geschakeld.

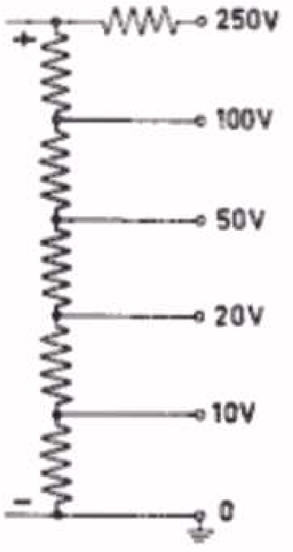
Zo kan ook de eigencapaciteit van grote weerstanden een ongunstige invloed uitoefenen en daarom is C1 (op dezelfde as als R2) ingeschakeld bij weerstandsmetingen in het meetgebied 0,1 - 10 MΩ. Het meten van weerstanden van 0,1-10 Megohm moet, om de eigencapaciteit te beperken, met korte verbindingsdraden geschieden.

Om de juistheid van de 'Philoscop' te kunnen controleren, heeft SK1 eenstand'calibratie'(CAL). In deze stand worden tussen de klemmen Bu1-Bu2 en Bu2-Bu3 2 nauwkeurig gelijke weerstanden geschakeld. In deze stand moet spanningsevenwicht worden verkregen, wanneer de wijzer op 1 van schaal II staat.

De volgende stand van SK1 is de z.g. 'open brug' stand. Hierbij is inwendig geen condensator of weerstand aan de klemmen verbonden. Door gebruikmaking van uitwendige standaard-weerstanden of - condensatoren kan men nu metingen uitvoeren. In de Service-werkplaats zal deze stand weinig worden gebruikt.
De meest linkse stand van SK1 is de procenten-stand. Hierbij is de schakeling gelijk aan de 'open brug' stand, doch door een andere waarde van R5 en R6 is het meetbereik zeer klein gemaakt (-20% - + 25%). In deze stand kunnen weerstanden, capaciteiten en zelfinducties met een zeer grote nauwkeurigheid (beter dan 0,3%) op gelijkheid worden gecontroleerd.

Wanneer wij de waarde van een electrolytische condensator willen meten en deze condensator heeft geruime tijd spanningsloos gelegen (bijv. een nieuwe condensator uit het magazijn), dan is het nodig deze condensator eerst weer te formeren(d.w.z. het oxydehuidje op de aluminium pool vormen.) Voor dit doel kunnen gelijkspanningen van 10 - 250 V van de 'Philoscop' worden betrokken (fig. 19). Het is mogelijk om de capaciteit te meten terwijl de electrolytische condensator aangesloten is aan een van deze spanningen.

Met de GM 4144 kunnen wij ook nog de isolatie van papier-, mica- of keramische condensatoren contrôleren. Hiertoe wordt deze condensator aangesloten tussen de klemmen Bu 9 - Bu 10 (fig. 17 en fig. 18.) Ten gevolge van de isolatieweerstand van de condensator zal hierbij een positieve spanning op het stuurrooster van de EM4 komen en de lichtvlek hiervan dus variëren. Op deze manier zijn isolatieweerstanden van ca. 200 MΩ nog aantoonbaar.



Potentiometerschakeling over de voedingsspanning van de 'Philoscop', zodat verschillende gelijkspanningen voor het formeren van een te meten electrolytische condensator kunnen worden betrokken.

Fig. 19

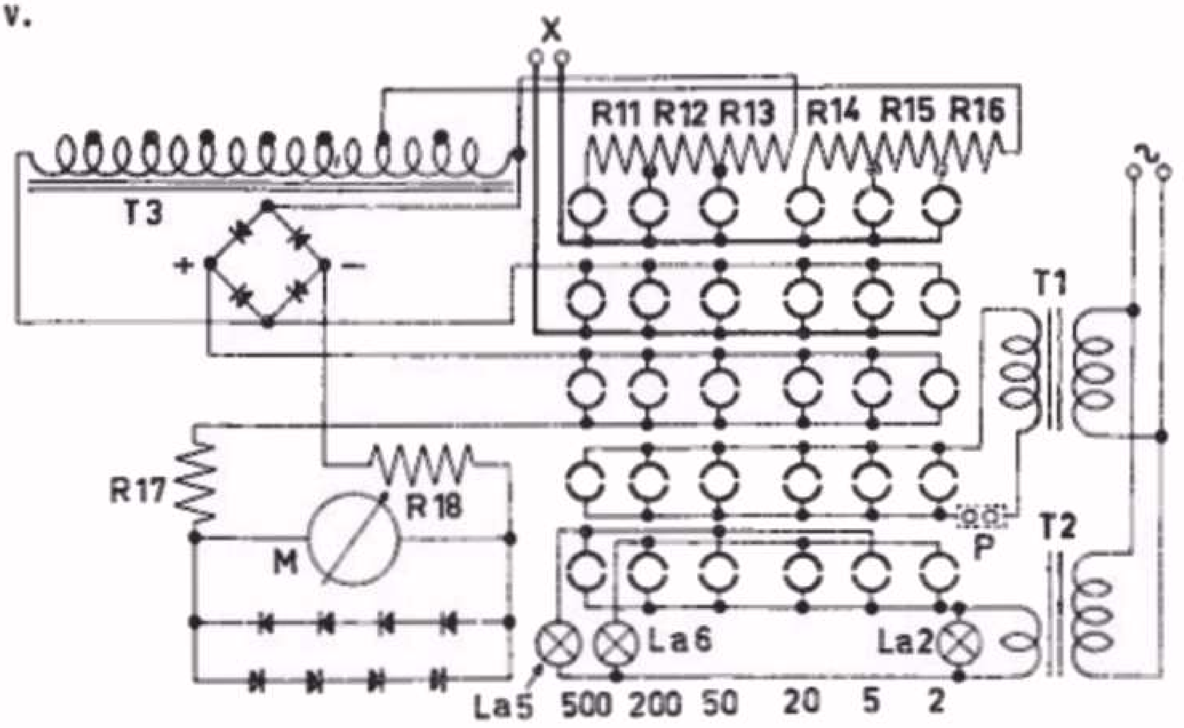
SAMENVATTING

1. De GM 4257 is een universeel meetapparaat voor gebruik in de service werkplaats met de volgende mogelijkheden:
   a. Meten van gelijk- en wisselspanningen.
   b. Meten van gelijk- en wisselstromen.
   c. Meten van weerstanden.
   d. Meten van capaciteiten.
   e. Wisselspanning (110 - 245 V; 100 W) beschikbaar voor de voeding van het te repareren ontvangtoestel.
      Deze spanning staat niet in directe verbinding met de netleiding.
      Bij U-apparaten kan het chassis worden geaard.
   f. Bij weerstands- en capaciteitsmetingen is deze spanning automatisch uitgeschakeld.
   g. Directe meting van de primaire stroom (opgenomen vermogen) van het te repareren apparaat.
   h. Isolatiebeproeving met 500 V gelijkspanning.
   i. Netspanningsvariaties kunnen worden gecompenseerd, zodat deze geen invloed op de meetnauwkeurigheid hebben.
   j. De meter is beveiligd tegen overbelasting.

2. De universele meetbrug "Philoscop" type GM 4144, berust op het principe van de brug van Wheatstone. De brugschakeling wordt gevoed met wisselspanning, afkomstig van de voedingstransformator of van een uitwendige spanningsbron. De "Philoscop" biedt de volgende mogelijkheden:
   a. Meten van weerstanden van 0,5 Ohm tot 10 Megohm.
   b. Meten van condensatoren van 10 pF - 100 µF.
   c. Contrôle op gelijkheid van weerstanden, condensatoren en zelfinducties met een nauwkeurigheid van 0,3%.
   d. Isolatiecontrôle van condensatoren.

VRAGEN EN VRAAGSTUKKEN

1. Onderstaande figuur geeft de schakeling van het universeel meetapparaat GM 4257 voor wisselspanningsmetingen weer. Hierbij zijn de contactbussen die uit twee delen bestaan, eveneens aangegeven. De 5-polige steker brengt een verbinding tussen de twee delen van de contactbussen tot stand. Gevraagd wordt de schakeling in haar eenvoudigste vorm te tekenen voor de meetbereiken 200 V en 5 V.



2. Een weerstand Rx moet worden gemeten met behulp van de schakeling van fig. 15. De stand van de loper van de potentiometer is bij spanningsevenwicht zodanig, dat A = 1/3 B. Als de weerstand R gelijk is aan 3000 Ohm, hoe groot is dan Rx?

3. Wat gebeurt er als in het ontvangtoestel met de schakeling van fig. 16 uit les 19
   a. de condensator C17 onderbroken is?
   b. de condensator C22 onderbroken is?
   c. de condensator C22 sluiting heeft?

PHILIPS
TECHNISCHE BIBLIOTHEEK